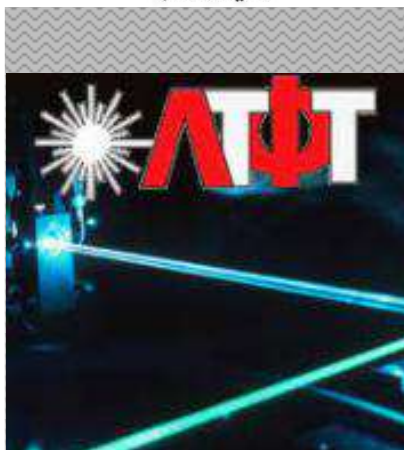


**2021**

# **ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ: ОБРОБКА МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ РІЗАННЯМ**

**ПРАКТИКУМ**

**Д. А. Лесик  
В. В. Джемелінський  
Ю. В. Ключников  
О. Т. Сердітов**



© КПІ ім. Ігоря Сікорського



Міністерство освіти і науки України

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ:  
ОБРОБКА МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ РІЗАННЯМ  
ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для студентів,  
які навчаються за технічними спеціальностями*

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2021

Технологія конструкційних матеріалів: Обробка металевих виробів різанням: Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів технічних спеціальностей / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Д. А. Лесик, В. В. Джемелінський, Ю. В. Ключников, О. Т. Сердітов. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,86 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 119 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 7 від 13.05.2021 р.)  
за поданням Вченої ради ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 6/21 від 28.04.2021 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

# **ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ: ОБРОБКА МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ РІЗАННЯМ ПРАКТИКУМ**

Укладачі: *Лесик Дмитро Анатолійович*, канд. техн. наук, ст. викл.  
*Джемелінський Віталій Васильович*, канд. техн. наук, проф.  
*Ключников Юрій Валентинович*, канд. фіз.-мат. наук, доц.  
*Сердітов Олександр Тимофійович*, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний редактор *Кагляк Олексій Дмитрович*, канд. техн. наук, доц.

Рецензенти *Головко Леонід Федорович*, д-р. техн. наук, проф.,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
*Малафєєв Юрій Михайлович*, канд. техн. наук, доц.,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Навчальний посібник розроблено до дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів» (розділ: «Обробка металевих виробів різанням») для виконання лабораторних та практичних занять в очній або дистанційній формі навчання студентів технічних спеціальностей КПІ ім. Ігоря Сікорського.

В навчальному посібнику до кожної роботи входять теоретичні відомості, порядок виконання роботи, посилання на відеоматеріали для підготовки до їхнього виконання в дистанційному режимі, а також індивідуальні завдання та запитання.

Основну увагу в лабораторних/практичних роботах приділено опису інструментів, пристроїв та методів отримання металевих деталей із заготовок обробкою різанням, а також основам програмування на верстатах з числовим програмним керуванням.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021  
© Д. А. Лесик, В. В. Джемелінський, Ю. В. Ключников, О. Т. Сердітов, 2021

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
<i>Лабораторна робота №1. Дослідження процесу обробки поверхонь обертання деталей на металорізальних верстатах .....</i>	<i>6</i>
<i>Лабораторна робота №2. Дослідження процесу обробки плоских поверхонь деталей на металорізальних верстатах .....</i>	<i>31</i>
<i>Лабораторна робота №3. Дослідження процесу обробки плоских металевих поверхонь деталей на верстатах з числовим програмним керуванням.....</i>	<i>50</i>
<i>Практична робота №1. Визначення характеристик шліфувального круга для різних умов шліфування .....</i>	<i>69</i>
<i>Практична робота №2. Визначення основних елементів технологічного процесу обробки металевих деталей .....</i>	<i>85</i>
<i>Практична робота №3. Основи програмування на верстатах з числовим програмним керуванням .....</i>	<i>104</i>
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	117

## ВСТУП

Методичні вказівки розроблено для виконання лабораторних та практичних занять із розділу «Обробка металевих виробів різанням» в очній або дистанційній формі навчання студентів технічних спеціальностей КПІ ім. Ігоря Сікорського. Кількість та тип лабораторної/практичної роботи визначається спеціальністю відповідно до робочої навчальної програми кредитного модулю «Технологія конструкційних матеріалів».

Зміст кожної лабораторної та практичної роботи включає мету роботи, короткі теоретичні відомості для підготовки до її самостійного виконання, опис необхідного обладнання, інструментів та заготовок, а також методичні рекомендації щодо порядку виконання роботи, включаючи посилання на відеоматеріали та індивідуальні завдання.

До початку лабораторного заняття студент повинен підготувати протокол для виконання лабораторної або практичної роботи. Перед початком кожної лабораторної/практичної роботи рекомендується проводити контрольні/тестові завдання. Для захисту виконаних робіт у кожній лабораторній та практичній роботі наведено контрольні запитання.

В результаті вивчення курсу студенти повинні отримати знання не тільки про властивості матеріалів, які пов'язані з їх обробкою, в процесі виготовлення деталей, але й також вміти правильно визначати основні елементи технологічного процесу та призначати режими механічної обробки матеріалів з використанням обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК), що забезпечують не тільки високу продуктивність при виготовленні деталей, але і їх експлуатаційну надійність.

## Лабораторна робота № 1

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ ДЕТАЛЕЙ НА МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

**Мета роботи:** вивчити будову і принцип роботи верстатів, інструментів і пристроїв для обробки деталей з зовнішніми і внутрішніми поверхнями обертання, розробити технологічний процес механічної обробки ступінчастого валу; а також розрахувати технологічний час та основні елементи режиму різання при точінні.

#### *Теоретичні відомості*

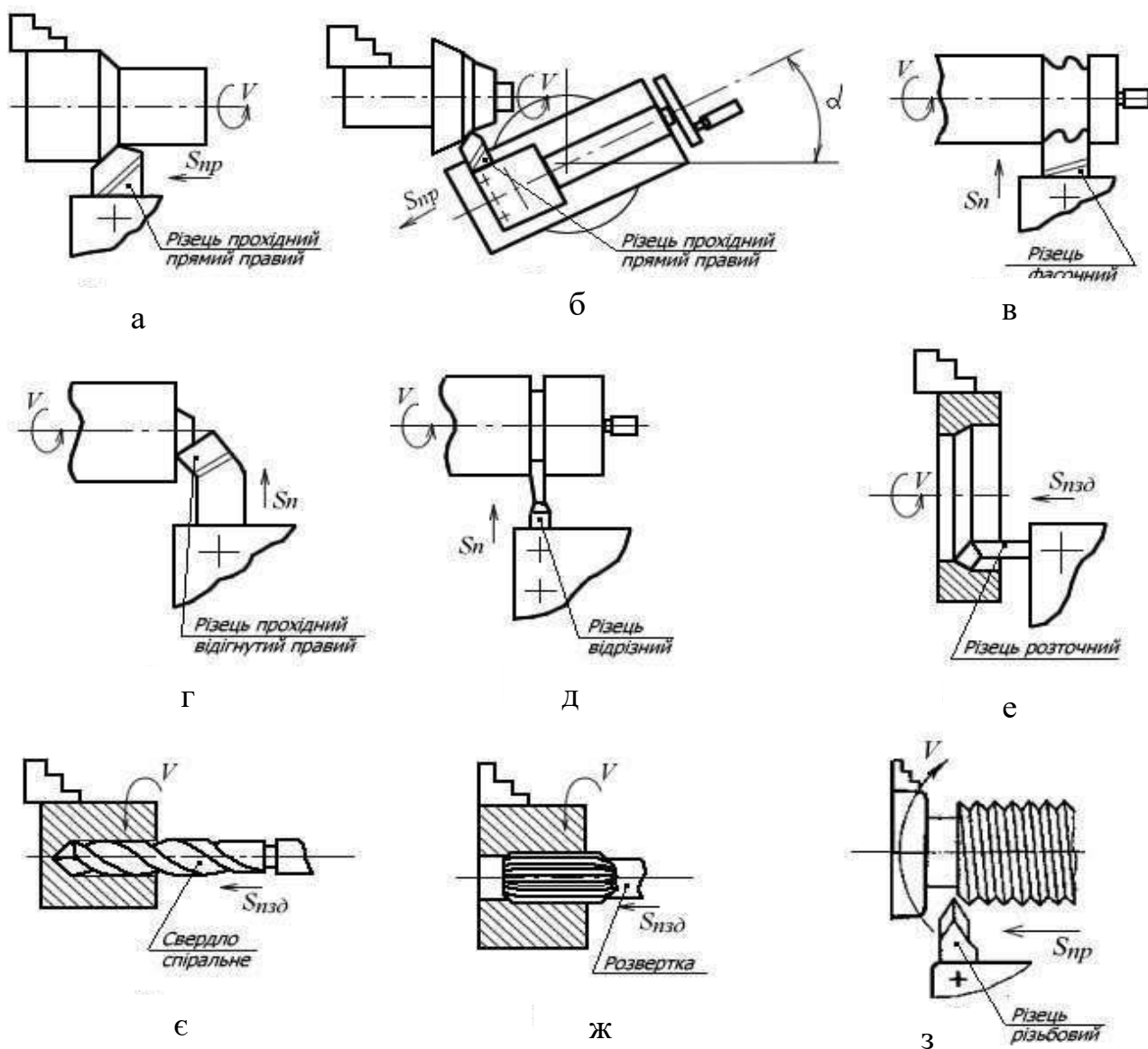
До деталей типу "вал" відносяться гладкі, ступінчасті і шліцьові вали, валики, осі, валки, пальці, штирі, штоки та цапфи. Технологія виготовлення цих деталей зазвичай передбачає чорнову, чистову та оздоблювальну обробку [1].

Чорнова обробка заготовок валів, як правило, виконується на верстатах токарної групи, а для важкооброблюваних матеріалів застосовують обдирні/грубі шліфувальні верстати. Чистова та оздоблювальна обробка можуть виконуватися на швидкохідних токарних та шліфувальних верстатах.

Деталі з зовнішніми та внутрішніми поверхнями обертання можуть бути циліндричними, конічними й фасонними [2]. Основні верстати для оброблення деталей з зовнішніми поверхнями обертання – токарні верстати всіх типів, а також круглошліфувальні, безцентрово-шліфувальні та інші типи верстатів.

#### *Обробка заготовок на токарних верстатах*

Точіння належить до основних методів обробки різанням, який характеризується обертовим рухом заготовки (головній рух) та поступальним рухом інструменту (рух подачі) (рис. 1) [2], [3]. Рух подачі здійснюється паралельно осі обертання заготовки – поздовжня  $S_{\text{пд}}$ , перпендикулярно до осі обертання заготовки –  $S_{\text{п}}$ , під кутом до осі обертання заготовки –  $S_{\gamma}$  (нахил).



а – обробка циліндричної поверхні; б – обробка конічної поверхні; в – обробка фасонної поверхні; г – підрізання торця; д – прорізання канавки і відрізання деталі; е – розточування отвору; є – свердління; ж – розвертування; з – нарізання різьби (різьбове різання)

Рисунок 1 – Схеми основних операцій токарної обробки

Основними операціями, які виконуються на токарних верстатах, є точіння зовнішніх циліндричних (рис. 1а), конічних (рис. 1б) та фасонних (рис. 1в) поверхонь, а також галтелів різцями; підрізання торців різцем (рис. 1г); розточування канавок або відрізання різцем (рис. 1д); розточування внутрішніх

циліндричних поверхонь різцем (рис. 1е); свердління свердлом (рис. 1є); розвертування розверткою (рис. 1ж); зенкерування зенкером; зенкування зенківкою; розточування отворів та нарізання різьби різцем (рис. 1з).

У більшості випадків на токарних верстатах виготовляють нові деталі для заміни, проте також цієї обробкою користуються для розточування зношених отворів та поверхонь. Верстати токарної групи характеризуються двома параметрами: висотою центрів над станиною та відстанню між центрами (передньою і задньою бабкою).

Для забезпечення високопродуктивної роботи необхідно вибрати раціональний спосіб установки заготовки на верстаті. Відомі наступні способи закріплення заготовок: в центрах передньої і задньої бабок, в патроні, в патроні з підтриманням заготовки заднім центром [4–6].

При цьому користуються таким правилом:

- якщо довжина заготовки більше діаметра в 1...4 рази (короткі заготовки), для закріплення застосовують патрон [7].

- якщо відношення довжини заготовки до її діаметра більше 4, але менше 10 – в центрах (рис. 2а), які поділяють на: звичайні – використовують при обробці зовнішніх заготовок; підрізні – для підрізки торців заготовок; кулькові – для обробки конічних поверхонь методом зміщення задньої бабки; зворотні – для обробки заготовок малого діаметра.

- якщо більше 10...12 – в центрах із застосуванням спеціальних підтримуючих пристроїв (люнетів), що запобігають прогин довгих валів при обробці і сприяють досягненню правильної циліндричної форми вала по всій довжині (рис. 2б). Рухомі люнети закріплюють до супорта верстата, нерухомі люнети закріплюють до станини [8].

Таким чином, вибір способу базування заготовки при обробці на верстаті залежить від її форми і габаритних розмірів.

При обробці заготовки в центрах є центрові отвори в торцях деталі, а передача крутного моменту виробляється за допомогою диску приводу чи



хомута. Точність установки при цьому досягає 0,03 мм.

При кріпленні без патрону застосовують також спеціальні притискачі (гладкі або з зубцями на зовнішньому конусі). При обробці в патроні точність установки значно нижче (до 0,2 мм). Щоб підвищити точність установки заготовок в патроні нерідко застосовують розточування незагартованих кулачків точно по діаметру деталі, що закріплюється.



а



б

Рисунок 2 – Кріплення заготовки в центрах на багаторізцевому верстаті (а) та люнеті (б) [9]

Токарні патрони бувають чотирьохкулачкові (з незалежним переміщенням кулачків), трьохкулачкові самоцентрувальні (з одночасним переміщенням кулачків) і планшайби (рис. 3). Для закріплення циліндричних заготовок, як правило, застосовують трьохкулачкові або цангові патрони (рис. 3а), що забезпечують необхідну жорсткість і достатню точність установу, а при обробці нециліндричних деталей – чотирьохкулачкові патрони (рис. 3б). Двумуфтові патрони застосовують для обробки фасонних заготовок. Планшайби застосовують для закріплення заготовок, які не можна встановити в патроні (рис. 3в).



Рисунок 3 – Зовнішній вигляд трьохкулачкового (а) та чотирьохкулачкового патрону (б), планшайби [10]

Середні та великогабаритні вали обробляють при комбінованому кріпленні: один кінець затискають інший, а інший підтискають центром задньої бабки. Точність установки при цьому не дуже висока.

Обробка заготовок з гладкою циліндричною поверхнею при закріпленні в центрах може виконуватися на звичайних однорізцевих та багаторізцевих (рис. 2а) верстатах. Основний час значно скорочується в порівнянні з точінням на однорізцевому верстаті.

*Токарно-гвинторізний верстат* – це універсальний верстат, на якому виконуються різноманітні роботи й використовуються заготовки багатьох

найменувань, його основний інструмент – різець. Відмінна риса верстату – це наявність механізму, що дозволяє нарізати різьбу (метричну, дюймову, модульну та ін.) різцем.

Будова універсального токарно-гвинторізного верстата моделі 1K62 складається з наступних основних частин й вузлів (рис. 4а):

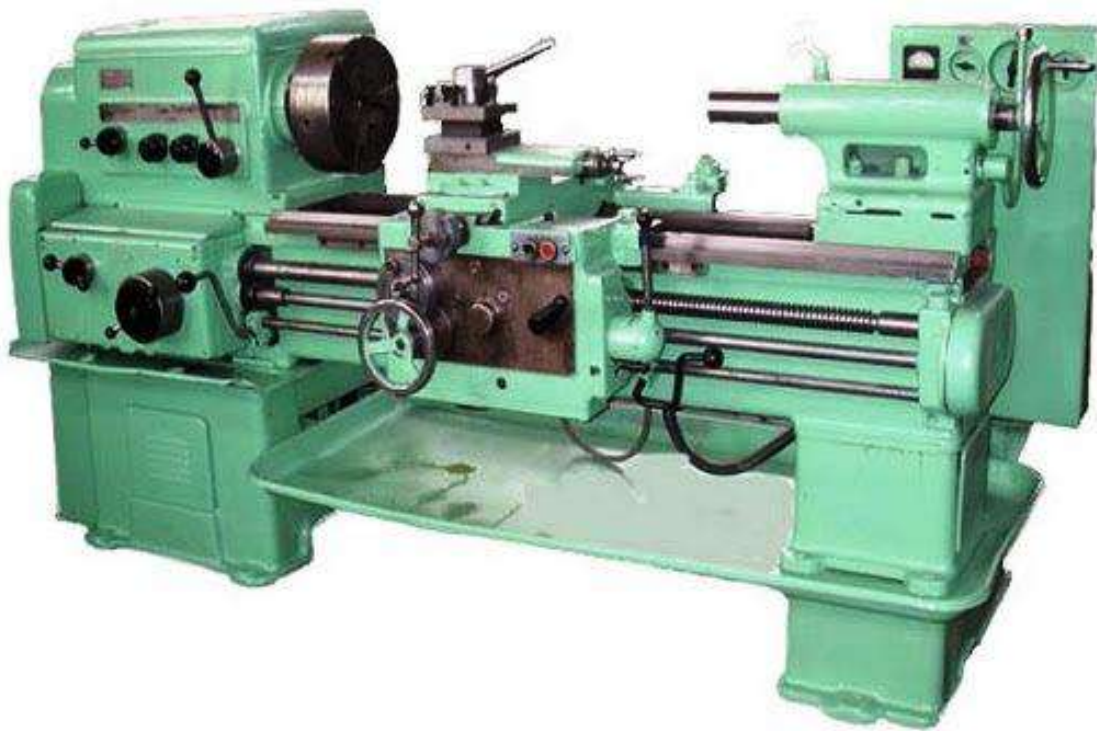
*Станина* двотумбова 1 із двома горизонтальними напрямними (дві плоскі та дві призматичні напрямні), якими пересуваються супортна група та задня бабка 11 (рис. 4б). У передній (лівій) тумбі станини міститься електродвигун головного привода верстата. У задній (правій) тумбі в бачку перебуває мастильно-охолоджувальна рідина (МОР). На станині монтуються всі вузли верстата.

*Передня бабка* 2 закріплена на станині. У ній змонтована коробка швидкостей з головним валом верстату – шпинделем, що передає крутний момент заготовці. Обертальний рух до шпинделя передається від електродвигуна, розміщеного в лівій тумбі, через клинопасову передачу та механізм, який складається із зубчастих коліс, розташованих усередині передньої бабки. Коробка швидкостей дозволяє змінювати (ступінчасто) число обертів шпинделя за хвилину. На рисунку 4б приведено шильдик зі значеннями швидкостей обертання шпинделя.

*Коробка подач* 3, яка закріплена на станині нижче передньої бабки, являє собою механізм для передачі обертання від шпинделя до ходового вала або ходового гвинта. Обертальний рух до коробки подач передається від шпинделя через реверсивний механізм (трэнзель) і гітару зі змінними зубчастими колесами (шестернями). Механізми й передачі коробки подач дозволяють одержувати різні швидкості переміщення супортів верстата (рис. 4б).

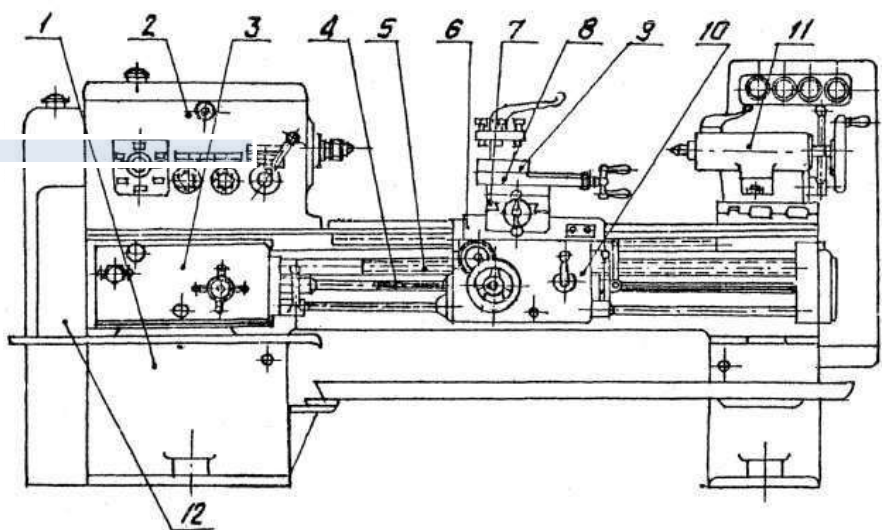
*Ходовий вал* 4 використовується для передачі руху від коробки подач до супорта при основних токарних роботах (рис. 4б).

*Ходовий гвинт* 5 призначений для передачі руху від коробки подач до супорта тільки при нарізуванні різьби різцем (рис. 4б).



а

Частота обертання шпинделя (об/хв)			
630	12,5	50	200
800	16	63	250
1000	20	80	315
1250	25	100	400
1600	31,5	125	500
2000	40	160	630



б

1 – станина; 2 – передня бабка; 3 – коробка подач; 4 – ходовий вал; 5 – ходовий гвинт; 6 – повздовжній супорт; 7 – поперечний супорт; 8 – верхній супорт; 9 – різцетримач; 10 – фартух; 11 – задня бабка; 12 – гітара зі змінними зубчастими колесами

Рисунок 4 – Загальний вигляд (а) та схема (б) токарно-гвинторізного верстату 1K62 [11]

*Супорт* складається з наступних частин (рис. 4б):

- поздовжнього супорта 6;
- поперечного супорта (каретки) 7;
- верхнього супорта 8;
- чотирьохпозиційного різцетримача 9;
- фартуха 10;

- задньої бабки 11 може переміщуватися вручну по напрямних станини і може бути зафіксована в певному положенні. У пінолі задньої бабки встановлюють центр або патрон з інструментами для обробки отворів (свердла, зенкери, розгортки);

- гідари змінних зубчастих коліс 12 передає рух від коробки швидкостей коробки подач і перебудовується шляхом перестановки зубчастих коліс при нарізуванні різьби різцем.

Для захисту зони різання використовується захисний екран (не показано на рисунку 4). Електроустаткування верстата розміщено в шафі.

На відміну від токарно-гвинторізного верстату 1К62, на *токарно-револьверному верстаті* є револьверна головка, де закріплюється велика кількість на заданий розмір інструментів. У процесі обробки інструменти вводять у роботу послідовно шляхом повороту револьверної головки навколо своєї осі. Величина переміщення інструменту щодо заготовки обмежена налаштуванням на розмір упором, що дозволяє автоматично одержувати потрібні розміри деталей. Крім револьверної головки з горизонтальною або вертикальною віссю обертання револьверні верстати можуть мати один або два поперечних супорти.

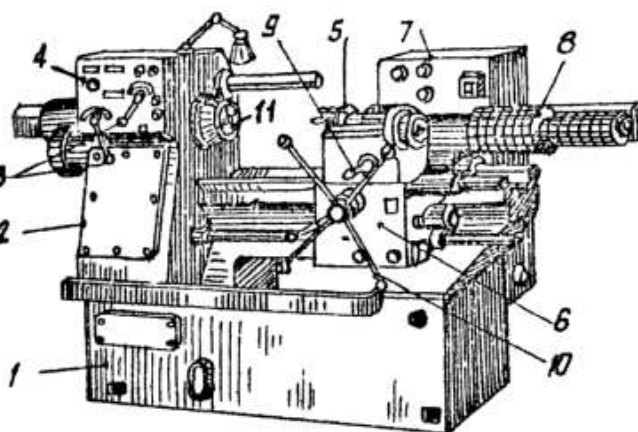
Зокрема, верстат токарно-револьверний універсальний моделі 1А341 з горизонтальною віссю револьверної головки призначений для обточування, розточування, зенкування, свердління, розгортання та нарізування внутрішніх (зовнішніх) різьб в умовах серійного виробництва (рис. 5). На ньому можна обробляти деталі як з пруткового матеріалу в цангових патронах, так і штучні



заготовки в трьохкулачкових патронах.



а



б

1 – станина; 2 – коробка подач; 3 – рукоятки перемикавання швидкостей і подач; 4 – передня бабка з коробкою швидкостей і шпинделем 11; 5 – револьверна головка; 6 – супорт; 7 – шафа з електроустаткуванням; 8 – барабан упорів і кінцевих вимикачів перебуває на одній осі з револьверною головою й обертається разом з нею; 9 – маховик ручного повороту револьверної головки; 10 – штурвал для переміщення супорта по поздовжніх напрямних станини; 11 – шпиндель

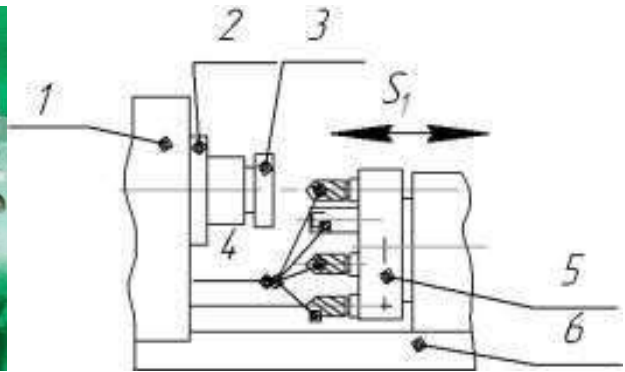
Рисунок 5 – Загальний вигляд (а) та схема (б) токарно-револьверного верстата 1А341 [12]

Обробка деталей з прутка здійснюється в автоматичному циклі, а штучні заготовки в трьохкулачковому патроні – в напіваавтоматичному циклі.

Токарно-револьверний верстат 1А341 має 16-позиційну револьверну головку з горизонтальною віссю обертання, яка паралельна осі шпинделя (рис. 6). Ріжучі інструменти закріплюються в отворах револьверної головки і послідовно вступають в роботу при поворотах револьверної головки, здійснюючи рух поздовжньої або поперечної подачі відповідно до технологічного процесу обробки деталі.



а



б

1 – передня бабка; 2 – шпиндель; 3 – оброблювана заготовки;  
4 – інструменти; 5 – револьверна головка з горизонтальною  
віссю обертання; 6 – напрямні станини

Рисунок 6 – Загальний вигляд (а) та схема (б) револьверної головки

Наявність револьверної головки з горизонтальною віссю повороту дозволяє використовувати верстат для розточування внутрішніх порожнин та зовнішньої проточки за бурти інструментами, які закріплені в державках револьверної головки.

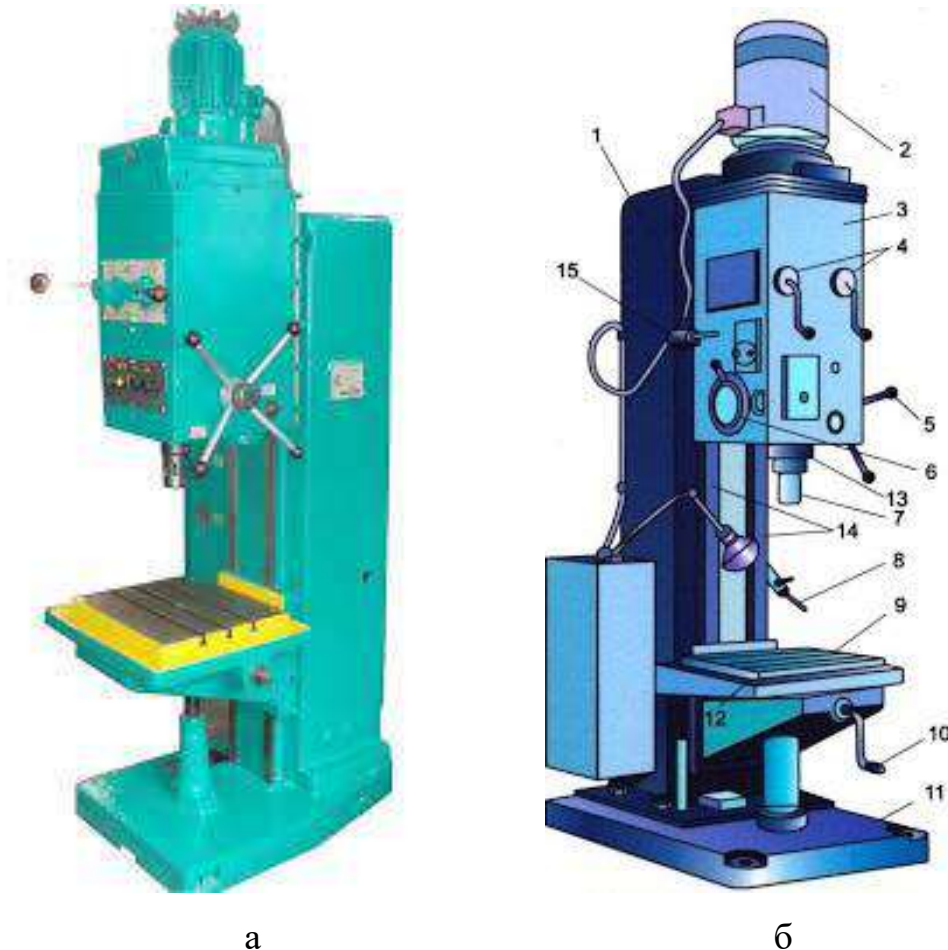
### ***Отримання внутрішніх поверхонь обертання та свердління отворів***

Основними верстатами для одержання й подальшої обробки отворів є свердлильні, токарні всіх типів, розточувальні, внутрішньо-шліфувальні й ін.

Вертикально-свердлильний верстат – це найпоширеніший тип верстатів свердлильної групи. Основний інструмент, що застосовується на верстаті – свердла. Точні отвори з високим класом чистоти поверхні обробляють зенкером і розверткою. На верстаті нарізають мітчиками різьбу в отворах.

Верстат 2Н125 (рис. 7) відноситься до вертикально-свердлильних верстатів середніх розмірів (2Н118, 2Н125, 2Н125Л, 2Н135, 2Н150, 2Г175) з умовним діаметром свердління відповідно 18, 25, 35, 50 та 75 мм. У порівнянні з раніше випускалися верстатами (з індексом А) верстати нової гами мають більш зручне

розташування рукояток керування коробками швидкостей і подач, а також простішу технологію збирання. Межі величин оборотів і подач шпинделя дозволяють обробляти різні види отворів на раціональних режимах різання.



1 – станина; 2 – двигун; 3 – свердлильна головка; 4 – коробка швидкостей;  
 5 – коробка подачі; 6 – лімб для налаштування ходу пінолі; 7 – шпиндель;  
 8 – система охолодження; 9 – стіл; 10 – рукоятка для керування столом;  
 11 – фундаментальна плита; 12 – електроустаткування; 13 – піноль;  
 14 – напрямні; 15 – пристрій для вертикального переміщення  
 шпиндельної коробки

Рисунок 7 – Загальний вигляд (а) та схема (б) вертикально-свердлильного верстата 2Н125 [13]

Основними вузлами вертикально-свердлильного верстата (рис. 7б)



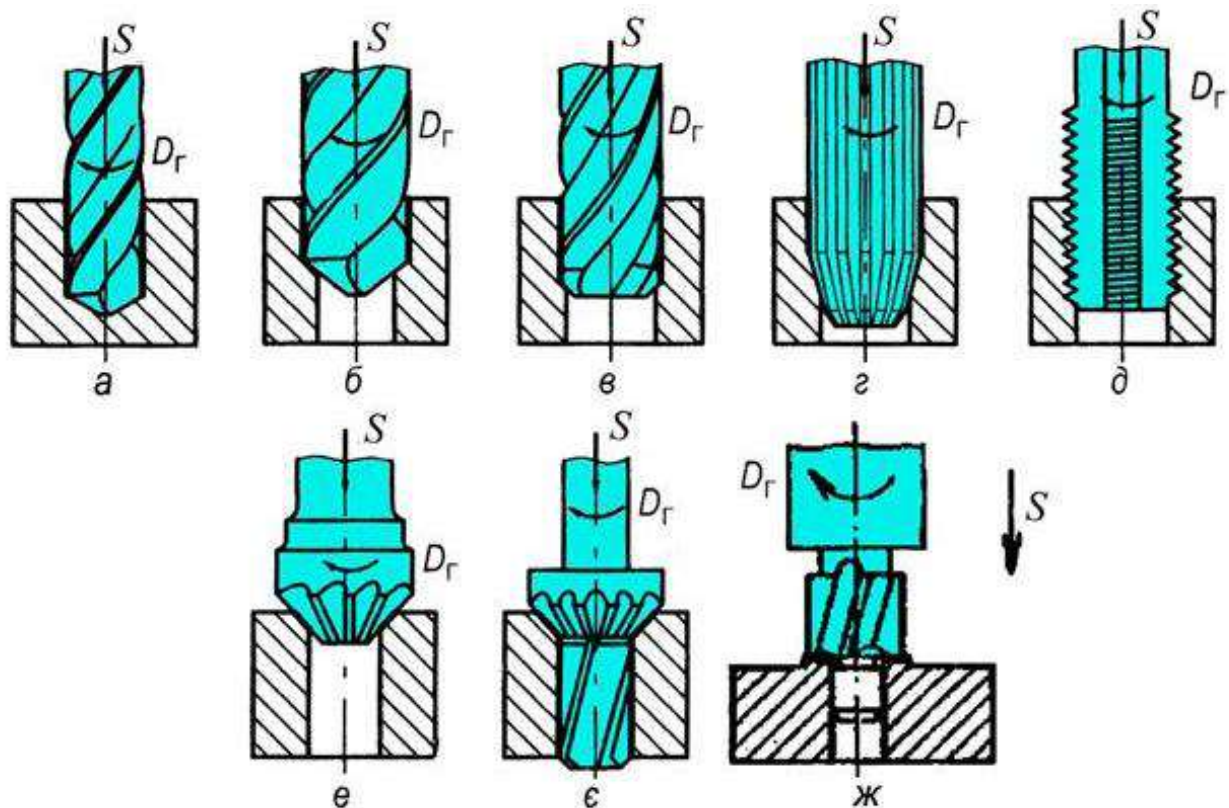
є фундаментна плита 11 – опора верстата. У внутрішній її порожнині міститься МОР. Станина 1 – це порожній виливок коробчастої форми, на якій є вертикальні напрямні. Коробка швидкостей 4 дозволяє змінювати частоту обертання головного вала верстата – шпинделя. Шпиндель 7 – це головний вал верстата, у нижньому кінці якого в кінчному отворі кріплять інструмент. Шпиндель крім обертового руху переміщається уздовж своєї осі. Коробка подач надає шпинделю різні швидкості осьового переміщення. Подачу змінюють залежно від виду обробки й застосовуваного інструменту. Стіл 9 призначений для закріплення оброблюваної заготовки. Залежно від величини оброблюваної заготовки стіл можна переміщати вгору й вниз по напрямних станини.

Верстати обладнані пристроєм реверсування електродвигуна головного руху, що дозволяє виконувати на них нарізування різьби машинними мітчиками при ручній подачі шпинделя. Крім того, є можливість здійснювати обробку деталей в широкому діапазоні розмірів та різних матеріалів з використанням інструменту із високовуглецевих та швидкорізальних сталей або надтвердих сплавів.

На свердлильних верстатах виконують наступні види робіт (рис. 8):

- свердління (рис. 8а) – одержання отвору в суцільному матеріалі свердлом;
- розсвердлювання (рис. 8б) – збільшення діаметра наявного отвору свердлом;
- зенкерування (рис. 8в) – збільшення діаметра наявного отвору зенкером, що забезпечує точність і чистоту поверхні вищі, ніж свердлом;
- розвертання (рис. 8г) – чистова фінішна обробка отвору (завжди виконується після зенкерування);
- нарізання різьби на внутрішній циліндричній поверхні в попередньо оброблених отворах за допомогою мітчика гвинтової канавки (рис. 8д), профіль якої відповідає профілю ріжучої частини;

- зенкування (рис. 8е) – отримання в оброблених отворах циліндричних чи конічних заглиблень під головки гвинтів, болтів, заклепок та інших деталей у попередньо просвердлених отворах за допомогою інструмента зенківки;
- одночасну обробку в отворі, наприклад, циліндричної та конічної поверхонь виконують (рис. 8є) спеціальним комбінованим інструментом;
- цинкування (рис. 8ж) - це обробка торцевої поверхні отвору цинківкою (торцевим зенкером) для досягнення перпендикулярності плоскої торцевої поверхні отвору відносно його осі.



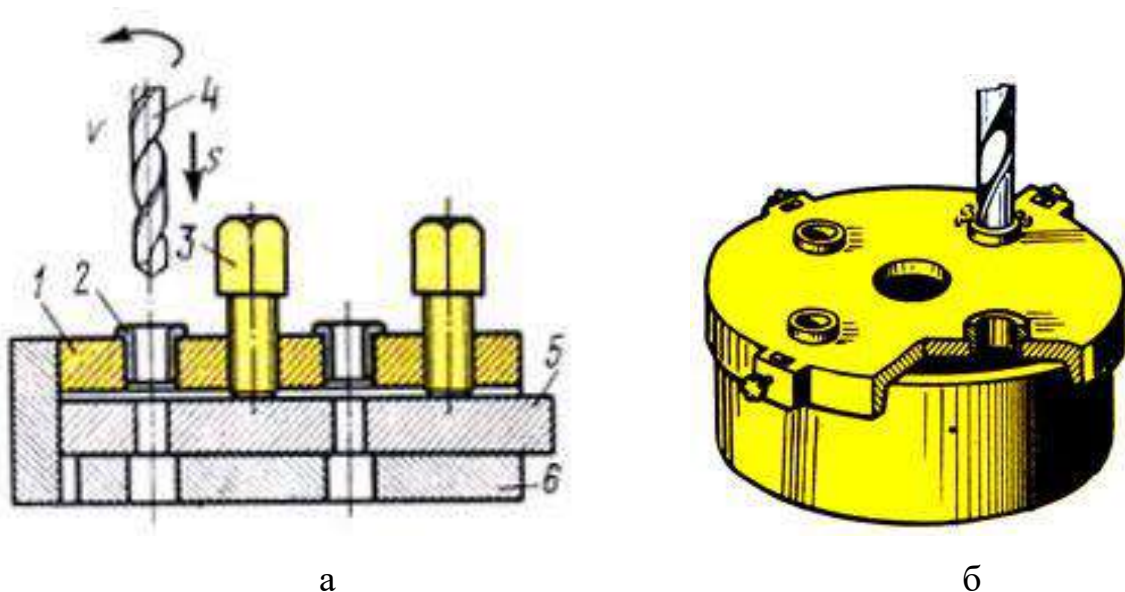
$D_r$  – головний рух різання;  $S$  – рух подачі

Рисунок 8 – Схема обробки отворів на свердлильному верстаті для свердління (а), розсвердлювання (б), зенкерування (в), розвертання (г), нарізання внутрішньої різьби мітчиком (д), зенкування конічної поверхні в отворі (е), обробка циліндричної та конічної поверхні в отворі комбінованим інструментом зенкер-зенківка (є), цинкування (ж) [14]

Для забезпечення точності при свердлінні всі деталі, за винятком дуже важких, міцно закріплюють до столу свердлильного верстата. Для установки і закріплення оброблюваних деталей на столі свердлильного верстата застосовуються різні пристосування, найбільш поширеними з них є:

- лещата машинні (гвинтові, ексцентрикові та пневматичні);
- кондуктори;
- призми, опори, косинці, спеціальні пристосування тощо.

Зокрема, *кондуктор* – основний пристрій свердлильного верстата (рис. 9), що широко використовується в серійному й масовому виробництві. За його допомогою забезпечується точне й швидке свердління отворів без попередньої розмітки. Основною частиною кондуктору є кондукторна плита із установленими в ній кондукторними втулками, які служать напрямними для різального інструменту.



- 1 – кондукторна плита; 2 – кондукторні втулки; 3 – гвинти;  
4 – свердло; 5 – деталь; 6 – корпус

Рисунок 9 – Схема накладного (а) та коробчастого (б) кондуктору [15]

На рисунку 9 показана конструкція накладного та коробчастого

кондуктору. Оброблювана деталь затискається в лещатах або безпосередньо на столі верстата при використанні накладного кондуктору (рис. 9а). Кондуктор накладається на ту частину поверхні деталі, де потрібно просвердлити отвори, а кріплять кондуктор на виробі бічними гвинтами.

Коробчастий кондуктор має форму коробки з відкидною кришкою (рис. 9б), коли оброблювану деталь монтують всередину корпусу і кріплять кришкою. Для свердління вводять свердло у відповідну направляючу втулку кондуктору, просвердлюючи у деталі отвір.

Використання кондукторів скорочує час на установку деталі, нівелюючи необхідність в розмітці та пробному свердлінні. Точність свердління забезпечується напрямком свердла через напрямні загартовані втулки, які закріплені в корпусі кондуктору.

Для того щоб просвердлити декілька отворів в невеликій партії однакових деталей, використовується шаблон замість кондуктору (рис. 10). Шаблон являє собою сталеву пластину за формою деталі, в якій виконані всі необхідні отвори. Застосування шаблону підвищує продуктивність праці та точність. Для виконання свердління за шаблоном, його накладають на деталь та фіксують в певному положенні, закріплюючи струбцинами.

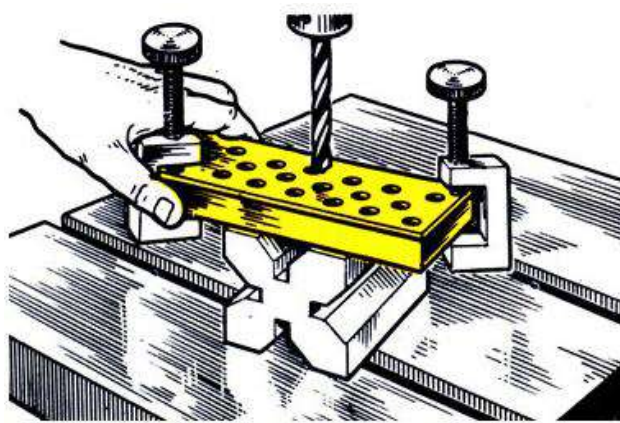


Рисунок 10 – Свердління отворів по шаблону [15]

Через шаблон свердлять один отвір на деталі та фіксують контрольним

штифтом. З протилежного боку заготовки свердлять другий отвір і так само фіксують контрольним штифтом, ніж усувають можливість зміщення шаблону по відношенню до деталі. Потім просвердлюють по черзі кожен отвір за шаблоном і перевіряють правильність свердління. Після цього знімають шаблон з деталі, видаляючи задирки напилком при необхідності, що утворилися під час свердління.

### ***Елементи режиму різання***

Режим різання визначається швидкістю різання, подачею і глибиною різання.

*Швидкість різання* при обертальному русі визначається як лінійна швидкість обертання певної найвіддаленішої від осі заготовки (різального інструменту) точки.

Швидкість різання при обертальному русі  $V$  (м/хв):

$$V = \frac{\pi D n}{1000},$$

де  $D$  – діаметр заготовки при точінні, свердла, зенкера або розвертки на свердлильних верстатах (мм),  $n$  – частота обертання заготовки на токарних або інструменту на свердлильних верстатах (хв<sup>-1</sup>).

Швидкість різання залежить від фізико-механічних властивостей оброблювального матеріалу, матеріалу інструменту, його стійкості, глибини різання і подачі, геометричних параметрів різальних інструментів та мастильно-охолодних рідин (МОР).

*Подачею* при точінні  $S$  (мм/об) називають переміщення інструменту у напрямі руху подачі за час, поки деталь зробить один оберт. Залежно від напрямку руху подача може бути поздовжньою, поперечною або розташованою під кутом до заготовки.

Подачу при точінні і свердлінні знаходять в залежності від шорсткості

обробленої поверхні (табл. 1).

Таблиця 1 – Параметри режимів різання при точінні

Шорсткість поверхні, мкм	Матеріал заготовки	Діапазон швидкостей різання, м/хв	Подача, мм/об
$R_z = 40 \dots 20$	Вуглецева і легована сталі.	до 50 більше 50	0,3...0,5 0,4.0,55
	Чавун, бронза та алюмінієві сплави	весь діапазон	0,25...0.4
$R_z = 20 \dots 10$	Вуглецева і легована сталі.	до 50 більше 50	0,18...0,25 0,25...0,3
	Чавун, бронза та алюмінієві сплави	весь діапазон	0,15...0,25
$R_z = 2,5 \dots 1,25$	Вуглецева і легована сталі.	до 50 більше 50	0,1 0,11...0,2
	Чавун, бронза та алюмінієві сплави	весь діапазон	0,1...0,15

Глибина різання – це товщина шару металу, що знімається за один прохід.

При поздовжньому точінні визначається  $t$  (мм):

$$t = \frac{D - d}{2},$$

де  $D$  – діаметр заготовки (мм),  $d$  – діаметр оброблювальної деталі (мм).

Припуск при точінні доцільно знімати за один робочий хід. Зазвичай при шорсткості:

$R_z = 40$  мкм (чорнове обточування)  $t = 3 \dots 5$  мм;

$R_z = 20 \dots 10$  мкм (напівчистове)  $t = 2 \dots 3$  мм;

$R_a = 2,5 \dots 1,25$  мкм (чистове)  $t = 0,5 \dots 1,0$  мм.

При свердлінні  $t$  (мм):

$$t = \frac{D}{2},$$

де  $D$  – діаметр свердла (мм).

Величини подачі в залежності від необхідної шорсткості оброблюваної

поверхні приведено у таблиці 1. Швидкість різання при чорновому обточуванні заготовок з вуглецевих і легованих сталей різцями з твердого сплаву Т15К6 приведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Швидкість різання (м/хв) при чорновому обточуванні заготовок з вуглецевих і легованих сталей різцями з твердого сплаву Т15К6

Глибина різання, мм	Подача, мм/об						
	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5
3	198	166	157	140	127	-	-
4	190	160	150	134	122	117	-
6	178	150	141	126	113	112	98

Зокрема, при точінні твердосплавними різцями швидкість різання приймається в діапазоні 100...350 м/хв, а швидкорізальними – 15...50 м/хв.

Для економічних розрахунків (зарплатня, собівартість та ін.) та визначення продуктивності необхідно знати технологічний (основний)  $T_0$  та штучний  $T_{шт}$  час на виготовлення окремої одиниці продукції (виконання операції при точінні циліндричної поверхні на токарному верстаті) за певних організаційно-технічних умов:

$$T_{шт} = T_0 + T_в + T_д + T_т + T_{орг} + T_n,$$

$$T_0 = \frac{L \cdot i}{n \cdot S}, \quad i = \frac{h}{t}$$

де  $T_0$  – основний час, хв;  $T_в$  – допоміжний час, хв;  $T_д$  – додатковий час, хв;  $T_т$  – час технічного обслуговування робочого місця, хв;  $T_{орг}$  – час організаційного обслуговування робочого місця, хв;  $T_n$  – час перерв, хв;  $S$  – подача різця (мм/об);  $n$  – частота обертання заготовки (об/хв);  $i$  – число проходів необхідних для зняття припуску  $h$ ;  $L$  – розрахункова довжина шляху ріжучого інструменту відносно заготовки в напрямку подачі:

$$L = l_o + l_{вр} + l_{пер},$$

де  $l_o$  – довжина оброблюваної поверхні (мм);  $l_{вр}$  – глибина врізання різця

(мм), де  $l_{вр} = t \cdot ctg$  ( $ctg$  – головний кут в плані,  $t$  – глибина різання, мм);  $l_{пер}$  – величина перебігу різця ( $l_{пер} = 1 \dots 3$  мм).

### ***Проектування технологічного процесу механічної обробки***

Розробка технологічного процесу обробки повинна включати: аналіз технологічності деталі з точки зору механічної обробки, встановлення маршруту обробки всієї деталі або окремих поверхонь, вибір обладнання, інструментів і пристосувань, розрахунок режимів різання та основного (машинного) часу.

*Технологічний процес* – це сукупність послідовних дій, спрямованих на перетворення заготовки в готову деталь. Технологічний процес поділяється на операції, установи, переходи.

*Операція* – закінчена частина процесу обробки заготовки на одному робочому місці (на одному верстаті).

*Установ* – частина операції, яка виконується при одному незмінному закріпленні заготовки.

*Перехід* – виконуваний вид роботи (підрізання торця, точіння зовнішньої поверхні, точіння фаски тощо).

### ***Вибір маршруту обробки***

Оформлення документації технологічного процесу виготовлення деталі визначається в основному типом виробництва і керується єдиною системою технологічної документації (ЄСТД). У спрощеному варіанті складається маршрутно-операційна карта (табл. 3), в якій міститься основна інформація про технологічний процес.

В графі "№ операцій, установів" нумерується операція; установи позначаються буквами українського алфавіту.

В графі "Найменування операцій, зміст переходів" вписується назва операції ("Токарна" тощо); зміст установів і переходів (встановити, закріпити,



точити, свердлити тощо).

У графі "Операційний ескіз" в довільному масштабі даються ескізи основних стадій обробки в послідовності їх виконання. Оброблювані поверхні зображуються більш товстими лініями, інструмент показують на кінцевій стадії операції, стрілкою вказується напрямок його подачі, умовно зображуються пристосування закріплення заготовок (патрони, центри, лещата).

У графі "Обладнання" вказується назва і модель верстата, в графі "Пристосування" – пристосування для кріплення заготовки для кожної операції. У графі "Інструменти" проти кожного переходу вказується тип інструменту із зазначенням марки ріжучої частини.

Оформлення маршрутно-операційно карти (табл. 3) показано на прикладі виготовлення деталі типу "Валик ступінчастий" (рис. 11).

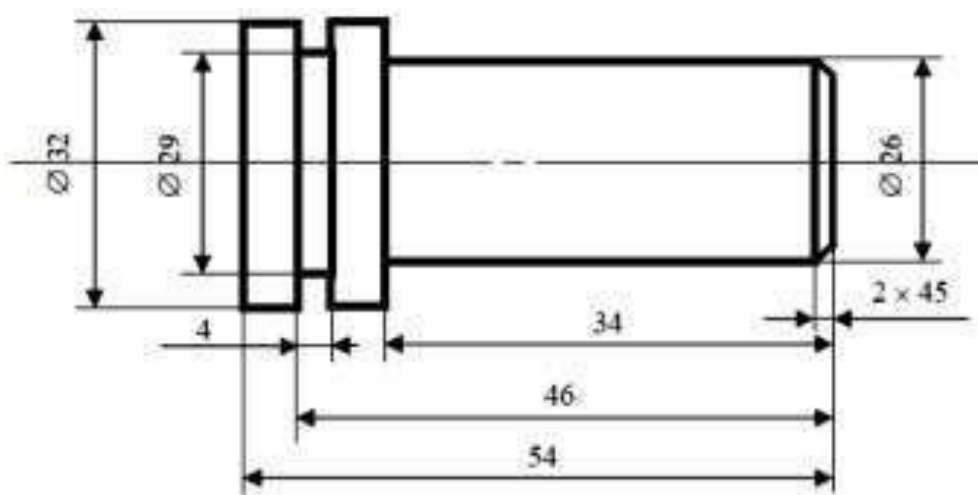
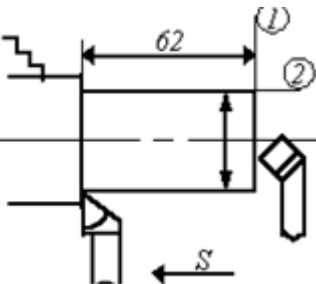
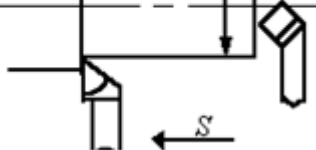
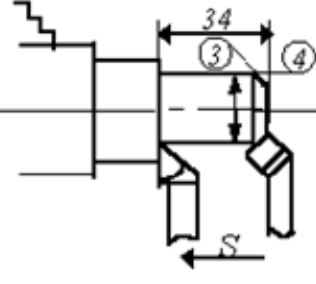
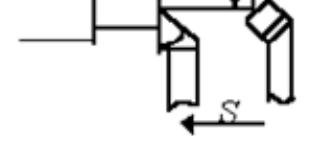
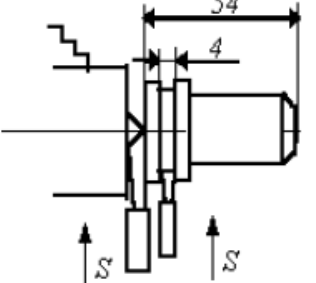


Рисунок 11 – Валик ступінчастий [16]

Таблиця 3 – Схема маршрутно-операційної карти

№	Найменування операцій, зміст переходів	Операційний ескіз	Верстат	Пристосування	Інструмент
А	Токарна Встановити, закріпити Перехід 1 Точити торець 1		Токарно-гвинторізний Верстат 1К62	Трикулачковий патрон	Різець відрізний Т15К6
	Перехід 2 Точити поверхню 2 в розмір 62 на Ø32				
	Перехід 3 Точити поверхню 4 в розмір 34 на Ø26				
	Перехід 4 Зняти фаску 3 (2 × 45°)				
	Перехід 5 Точити канавку шириною 4 мм, глибиною 1,5 мм				
Б	Перехід 6 Відрізати заготовку в розмір 54 Послабити, зняти.				

## ***Порядок виконання роботи***

1. Перед виконанням роботи переглянути відеоматеріали за наступними посиланнями:

1.1. Поняття про процес різання [<https://ice-people.ru/raznoe-2/tochenie-metalla-tokarnaya-obrabotka-metalla-texnologiya-osobennosti-video.html>]

1.2. Геометрія ріжучих інструментів (різці та фрези)  
[[https://www.youtube.com/watch?v=bbMbFvsRTJo&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=bbMbFvsRTJo&ab_channel)]

1.3. Техніка безпеки. Порушення вимог техніки безпеки при роботі на металоріжучих верстатах  
[<https://www.youtube.com/watch?v=4YQxtvruI2c&list=PLjjI1KiKERXLldFeDbDoMN3sPQ-jwq3g3&index=120>]

1.4. Токарна обробка  
[[https://www.youtube.com/watch?v=XrMWM9amO\\_M&list=PLjjI1KiKERXLldFeDbDoMN3sPQ-jwq3g3&index=77](https://www.youtube.com/watch?v=XrMWM9amO_M&list=PLjjI1KiKERXLldFeDbDoMN3sPQ-jwq3g3&index=77) ]

1.5. Обробка різанням. Види, інструмент, верстати  
[<https://www.youtube.com/watch?v=kATgSVHZnPU&list=PLjjI1KiKERXLldFeDbDoMN3sPQ-jwq3g3&index=75>]

1.6. Найшвидший токарний верстат з ЧПУ  
[[https://www.youtube.com/watch?v=s2EK5nRy3x4&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=s2EK5nRy3x4&ab_channel)]

2. Ознайомитись з будовою і роботою токарно-гвинторізного, токарно-револьверного, вертикально-свердлильного й радіально-свердлильного верстатів, а також з призначенням та роботою кондуктора.

3. Вивчити рухи на токарних та свердлильних верстатах; різні типи інструментів для обробки поверхонь обертання на металорізальних верстатах; послідовність технологічних операцій щодо виготовлення циліндричної деталі на токарному верстаті, свердлення отворів у деталях на свердлильному верстаті.

4. Згідно індивідуального завдання (додаток 1), вибрати способи механічної обробки металевої поковки/заготовки для виготовлення деталі – ступінчастий

вал відповідно заданому ескізу (1...9 варіанти – Рис. 12 та Табл. 4; 10...18 варіанти – Рис. 13 та Табл. 5); встановити послідовність обробки (маршрутно-операційну карту, див. приклад – табл. 3); привести опис операцій, переходів, операційні ескізи, вибрати та вказати обладнання, пристосування та інструменти; для обраного переходу розрахувати технологічний час  $T_0$ .

5. Визначити параметри режимів різання (користуючись даними розділу «Елементи режиму різання») та занести їх у табл. 6, де  $n_{к.шв}$  (об/хв) обирають як найближче менше значення на шильдику коробки швидкостей (рис. 4б).

### Запитання

1. Які типи верстатів призначені для обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь обертання деталей?
2. Назвіть головні й допоміжні рухи при обробці заготовок на токарних та свердлильних верстатах?
3. Які різальні інструменти використовують на токарних верстатах?
4. Яка головна особливість конструкції токарно-гвинторізного верстата?
5. Які основні операції обробки отворів виконують на свердлильних верстатах? Як визначити глибину різання при свердлінні?
6. Які інструменти використовують при обробці отворів на свердлильних верстатах?
7. Призначення пристосування – кондуктора.

### Додаток 1

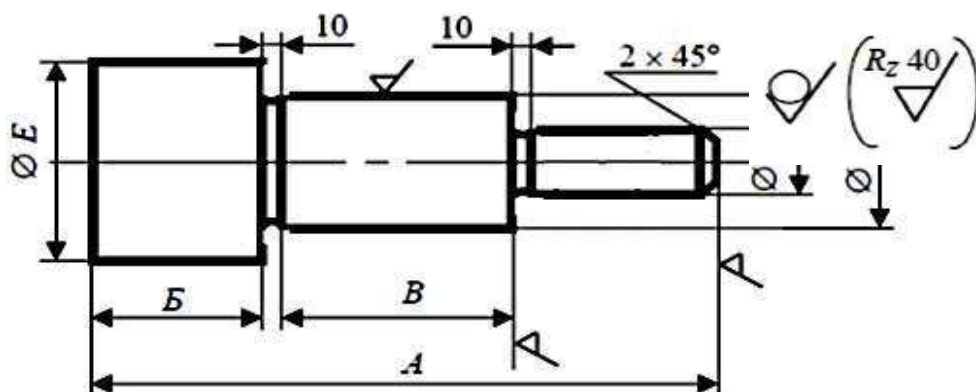


Рисунок 12 – Ескіз ступінчастого валу [16]

Таблиця 4 – Індивідуальні геометричні розміри ступінчастого валу

№ варіанту	Розміри, мм					
	А	Б	В	Г	Д	Е
1	250	50	90	130	70	150
2	280	70	90	150	70	170
3	300	90	90	180	80	200
4	350	60	150	180	80	200
5	400	110	160	150	80	200
6	450	90	180	150	100	220
7	480	110	180	200	120	260
8	500	100	200	210	100	300
9	400	80	160	180	80	220

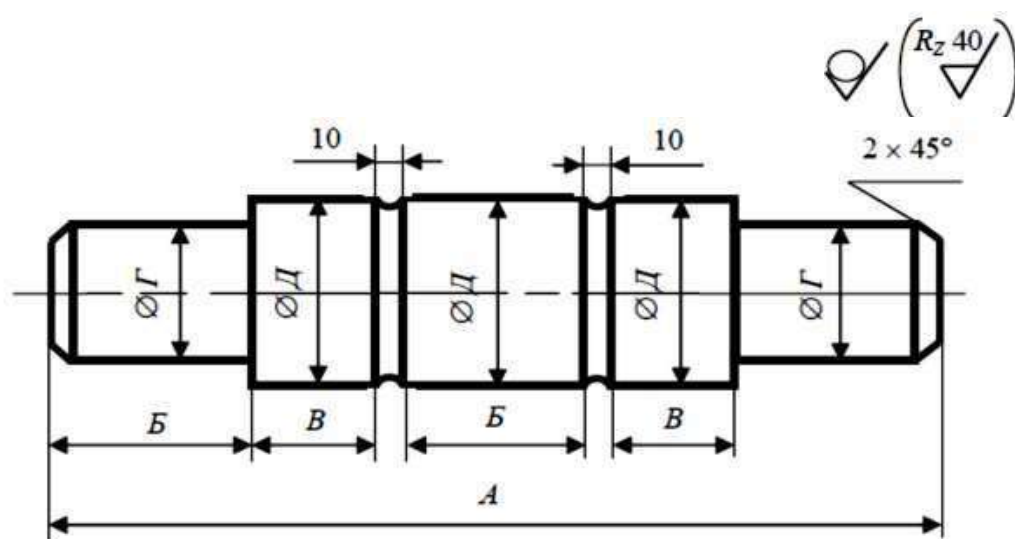


Рисунок 13 – Ескіз ступінчастого валу [16]

Таблиця 5 – Індивідуальні геометричні розміри ступінчастого валу

№ варіанту	Розміри, мм				
	А	Б	В	Г	Д
10	400	100	70	80	150
11	500	100	90	80	170
12	600	140	100	100	250
13	700	140	120	100	200
13	800	200	80	100	250
14	900	200	90	160	300
16	1000	210	90	150	280
17	1100	210	100	150	380
18	800	160	100	120	200

Таблиця 6 – Режими різання

№ переходу	Найменування переходу	Діаметр обробленої поверхні ( $d$ ), мм	Довжина ( $l$ ), мм	Глибина різання ( $t$ ), мм	Подача ( $S$ ), мм/об	Частота обертання заготовки ( $n$ ), об/хв	Частота обертання шпинделя ( $n_{\text{шп}}$ ), об/хв	Швидкість різання ( $V$ ), м/хв	Технологічний (основний) час ( $T_o$ ), хв

## Лабораторна робота № 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ НА МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

**Мета роботи:** вивчити основні вузли верстатів, ознайомитись з інструментами та пристроями для обробки плоских поверхонь на деталях, вміти вибирати тип верстата, інструмент та послідовність обробки плоскої поверхні деталі, проаналізувати вплив різних факторів на шорсткість обробленої поверхні. Визначити послідовність операцій технологічного процесу механічної обробки деталі.

#### *Теоретичні відомості*

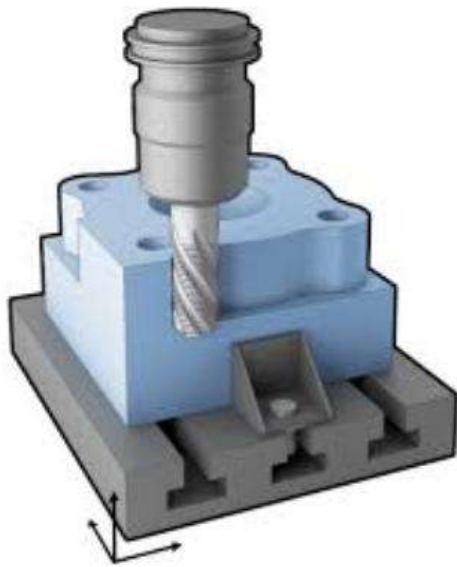
Основними верстатами для обробки плоских поверхонь деталей є фрезерні, стругальні та плоскошліфувальні (обробка абразивним інструментом). Крім того, плоскі поверхні можна обробляти на токарних, протяжних та інших типах верстатів. Керування металорізальним верстатом здійснюється вручну, механічно або автоматично за допомогою системи ЧПК.

#### *Обробка на універсальних фрезерних верстатах*

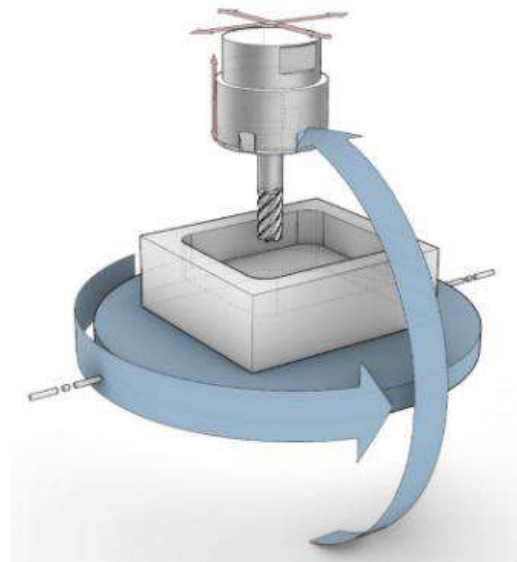
Найбільш розповсюдженими типами є вертикально- або горизонтально-фрезерні верстати. Вони відрізняються розташуванням шпинделя (головного вала верстата), на якому закріплюють фрезу.

У вертикально-фрезерного верстаті шпиндель розташований вертикально, у горизонтально-фрезерного відповідно горизонтально. Головним рухом при фрезеруванні є обертальний рух фрези  $n$  (об/хв), а оброблюваній заготовці задається рух подачі  $S$  (мм/хв), що може бути повздовжнім, поперечним та вертикальним. При цьому, заготовка закріплюється на столі верстату (рис. 1).

При фрезеруванні в роботі беруть участь одночасно кілька зубів фрези, тому процес відрізняється більш високою продуктивністю, чим при роботі однолезовим інструментом (наприклад, різець). Схеми основних операцій фрезеруванням приведено на рисунках 2–11.



а



б

Рисунок 1 – Схема фрезерування зовнішнього контуру (а) та карману (б)

Плоскі поверхні фрезерують циліндричними (рис. 2), торцевими (рис. 3) і кінцевими фрезами (рис. 4); пази – тристоронніми дисковими (рис. 5), Т-твірні (рис. 6) і шпонковими фрезами (рис. 7); фасонні – фасонними фрезами відповідного профілю (рис. 10); комбіновані – комплектом фрез (рис. 9) чи спеціальними фрезами;

Слід зазначити, що фрезерування торцевими фрезами більш продуктивне, ніж циліндричними. Це пояснюється тим, що при торцевому фрезеруванні відбувається одночасне різання металу декількома зубами, причому можливе застосування фрез великого діаметра з великою кількістю зубів.

В залежності від напрямлення фрези і оброблюваної поверхні, фрезерування циліндричними фрезами проводиться двома способами. Перший спосіб – зустрічне фрезерування, коли при обертанні лінійна швидкість фрези в точці контакту із заготовкою спрямована проти подачі заготовки. Другий спосіб – попутне фрезерування, коли напрямок обертання фрези збігається з напрямком подачі заготовки. При попутному фрезеруванні товщина стружки поступово зменшується. Завдяки цьому продуктивність може бути вищою, а якість обробленої поверхні кращою, ніж при зустрічному фрезеруванні.



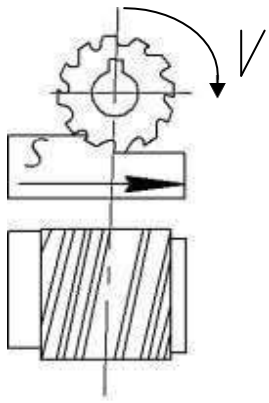


Рисунок 2

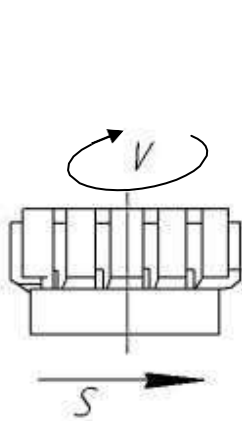


Рисунок 3

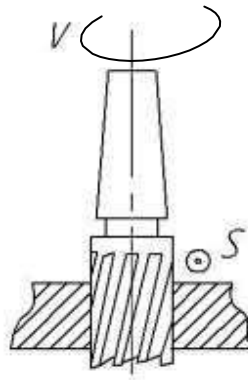


Рисунок 4

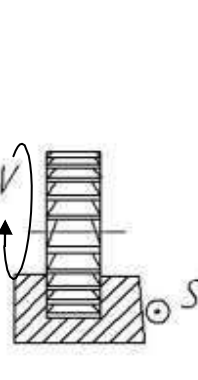


Рисунок 5

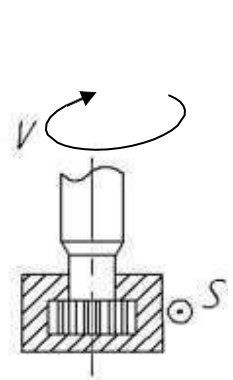


Рисунок 6

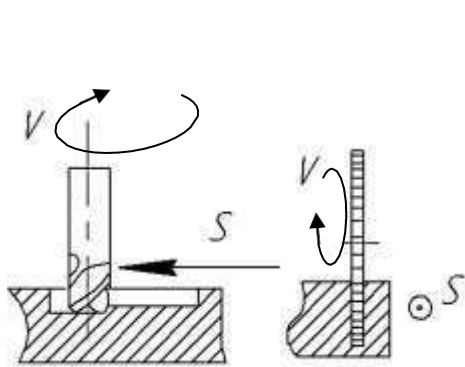


Рисунок 7

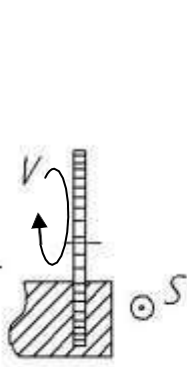


Рисунок 8

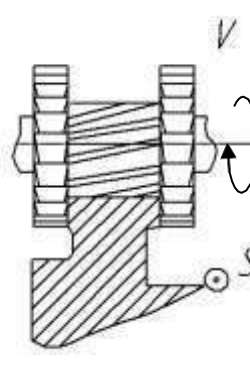


Рисунок 9

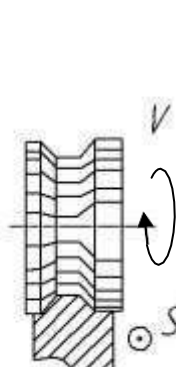


Рисунок 10

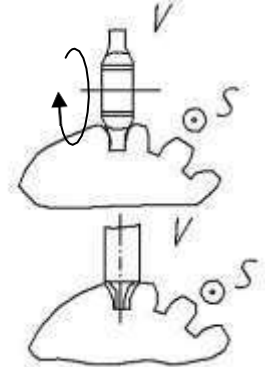


Рисунок 11

Відрізана частини заготовки виготовляється прорізними фрезами (рис. 8). Крім того, на універсальних фрезерних верстатах можна виготовляти зубчасті колеса за допомогою модульних дискових (рис. 11, верхня схема) або модульних пальцевих фрез (рис. 11, нижня схема).

### ***Основні вузли вертикально-фрезерного верстата і їх призначення***

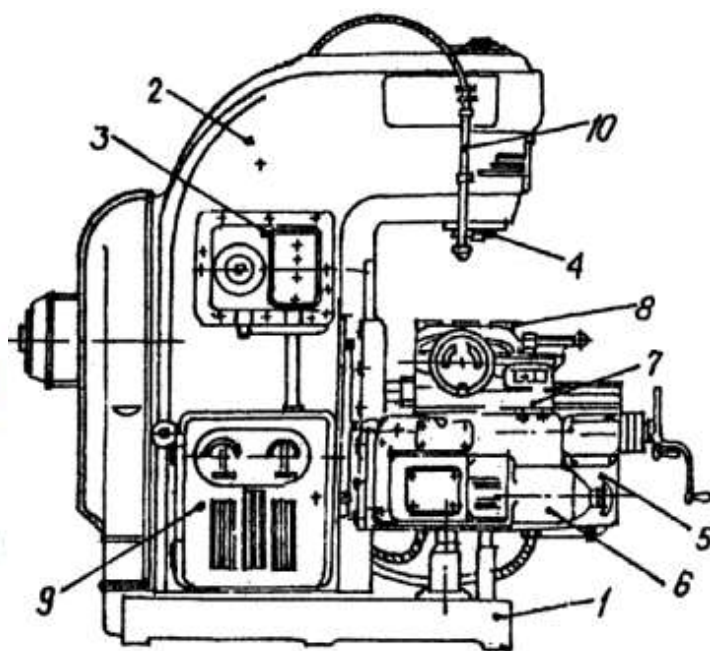
Зовнішній вигляд вертикально-фрезерного верстата показано на рис. 12а. Такі верстати, як правило, споряджені шпиндельною головкою 4, яка може обертатися навколо горизонтальної осі. Вертикально фрезерні верстати не мають хобота, тому на них обробляють тільки фрезами з консольним закріпленням.

Основні вузли вертикально-фрезерного верстата розглянуто на рисунку 12б. Фундаментна плита 1 – це нижня основа верстата, яким верстат встановлюється і кріпиться на фундаменті.

Усередині фундаментної плити є порожнина (резервуар) для МОР. При легких фрезерних роботах застосовують водну емульсію, що представляє 6% водний розчин емульсолів. Емульсол складається з 75...80% мінерального масла, 18...20% мила, 3...5% спирту та 4...5% води. При напівчистовій і чорновій обробці застосовують масляну емульсію, що містить кальцієву сіль олеїнової кислоти, яка утворює на оброблюваній поверхні найтоншу плівку, що забезпечує змащення ріжучої кромки. При обробці з великими перетинами стружки застосовують МОР, що утворюють міцну масляну плівку, що не руйнується при високій температурі і великому зусиллі різання. До них відносяться сульфифрезол (мінеральні масла) та змішані масла (мінеральне масло в суміші з продуктом, що містить жирні кислоти).



а



б

- 1 – фундаментна плита; 2 – станина; 3 – коробка швидкостей; 4 – шпиндель;  
 5 – консоль; 6 – коробка подач; 7 – поперечний стіл; 8 – поздовжній стіл;  
 9 – електроустаткування; 10 – система охолодження

Рисунок 12 – Загальний вигляд (а) та схема (б) вертикально-фрезерного верстата [17]

Усередині чавунної станини 2 розміщена коробка швидкостей 3 зі шпинделем, яка дозволяє змінювати число оборотів шпинделя (фрези) за хвилину. Шпиндель 4 (полий вал) встановлюється у підшипниках, на якому кріплять фрезу. Обертальний

рух шпинделю передається від електродвигуну через коробку швидкостей. Консоль (полий литий кронштейн), усередині якого розташована коробка подач. Консоль переміщається по вертикальних напрямних станини (вручну чи автоматично від коробки подач).

Коробка подач 6 дозволяє змінювати подачу, тобто швидкість переміщення заготовки щодо фрези в міліметрах за хвилину, маючи власний привід від окремого електродвигуну.

На робочому столі кріпиться заготовка, який переміщується в поперечному або поздовжньому напрямку (вручну чи автоматично від коробки подач) по поперечних/поздовжніх напрямних консолях.

### ***Основні вузли горизонтально-фрезерного верстату і їх призначення***

На рисунку 13а показано зовнішній вигляд консольного горизонтального фрезерного (горизонтально-фрезерного) верстата. Горизонтально-фрезерний верстат відрізняється від універсально-фрезерного відсутністю поворотного механізму.

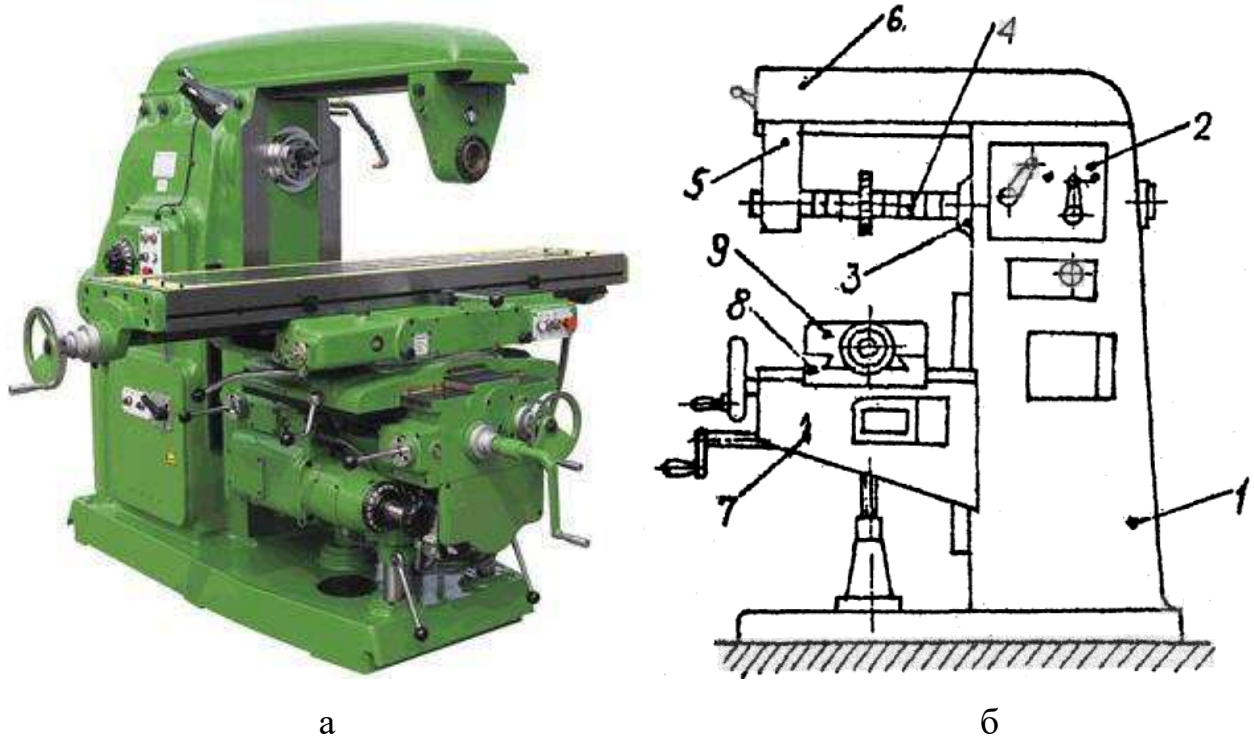
Основні вузли горизонтально-фрезерного верстата позначено на рисунку 13б. На верхній частині коробчастої станини 1 встановлено хобот 6 з підвісками 5, призначеними для підтримування оправок 4, на яких встановлюються фрези. Коробка швидкостей 2 дозволяє змінювати число оборотів шпинделя (фрези) 3 за хвилину, яка знаходиться в середині верхньої частини станини.

На шпинделі (порожнистий вал, якому передається обертальний рух від коробки швидкостей), закріплюються фрези за допомогою оправки 4. Оправка 4 – це вал з конічним хвостовиком, що встановлюється у конічний отвір шпинделя. Хобот 6 – масивна основа, на якій закріплена підвіска 5. Його можна переміщати відносно станини, а підвіску - по напрямних хобота в залежності від довжини і конструкції оправки.

Консоль 7 – порожнистий кронштейн, всередині якого знаходиться коробка подач; переміщується по напрямним станини, здійснюючи вертикальну подачу заготовки.

Поперечний стіл 8 переміщується по напрямним консолях, здійснюючи поперечну подачу оброблюваної деталі, тоді як поздовжній стіл (робочий) 9 переміщується по

напрямним поперечного столу, здійснюючи повздовжню подачу оброблюваної деталі.



1 – станина; 2 – коробка швидкостей; 3 – шпиндель; 4 – оправка; 5 – підвіска;  
6 – хобот; 7 – консоль; 8 – поперечний стіл; 9 – поздовжній стіл

Рисунок 13 – Загальний вигляд (а) та схема (б) горизонтально-фрезерного верстата [18]

Розміри робочої поверхні горизонтально-фрезерних верстатів від 200x800 мм до 400x1600 мм залежно від моделі верстата дозволяють встановлювати деталі на столі заввишки до 350...400 мм і обробляти їх на довжині від 400 до 1000 мм. Верстати забезпечують поперечне переміщення стола на 160...320 мм та вертикальне на 300...400 мм.

### ***Елементи режиму різання***

*Режим різання* при фрезеруванні визначається швидкістю різання, подачею та глибиною різання. Швидкість різання визначається за формулою:

$$V = \frac{\pi D n}{1000},$$

де  $D$  – діаметр фрези (мм),  $n$  – частота обертання фрези ( $\text{хв}^{-1}$ ).

Глибина різання визначається за довідниками. Подачу при фрезеруванні за одну хвилину можна визначити за наступною формулою:

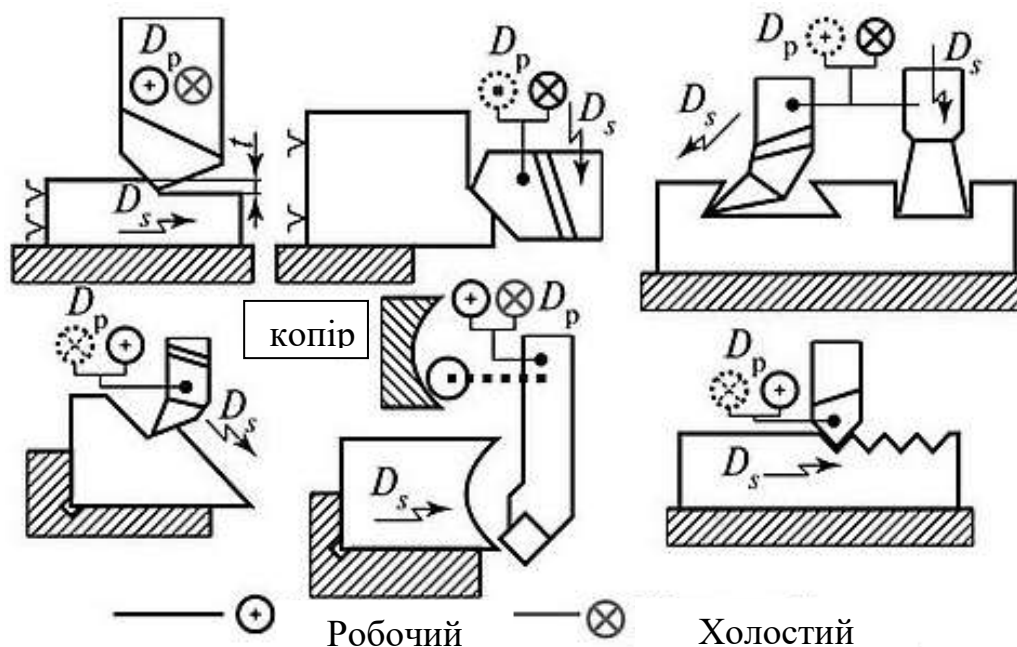
$$S_{xв} = S_z \cdot z \cdot n,$$

де  $S_{xв}$  – подача за один оберт (мм/об),  $S_z$  – подача на зуб фрези (мм/зуб),  $z$  – число зубців фрези,  $n$  – частота обертання фрези (хв<sup>-1</sup>).

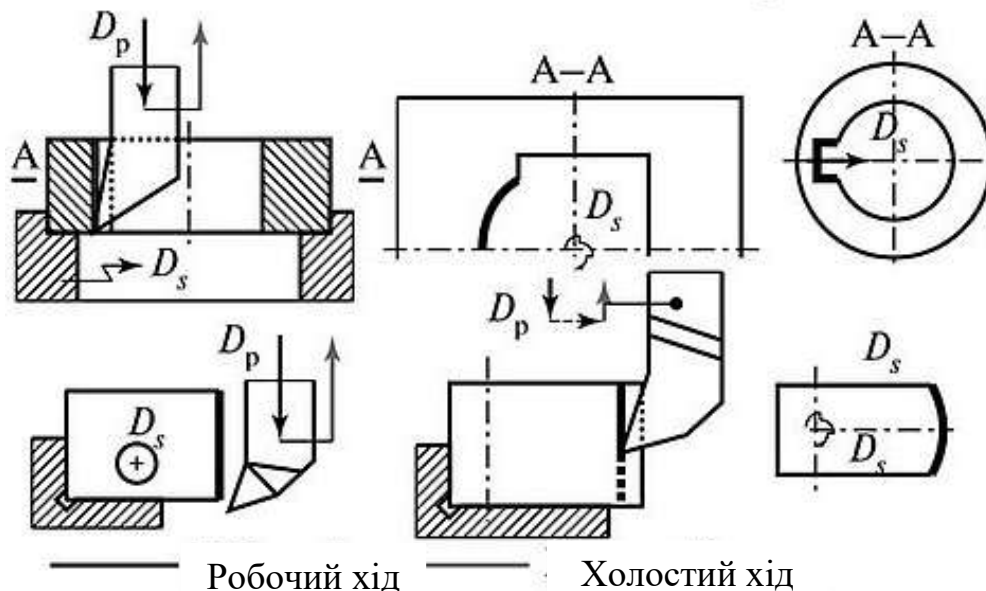
### **Обробка на поперечно-стругальному верстаті**

Процес різання на поперечно-стругальному або довбальному верстатах переривчастий, і видалення матеріалу відбувається тільки при прямому (робочому) ході інструменту. Матеріал із заготовки віддається різцем при його робочому ході. Під час холостого ходу, різець роботу різання не виконує, а тільки повертається у вихідне положення. Холостий хід забезпечує також охолодження інструменту.

При струганні головний рух (прямолінійний, зворотно-поступальний) надається інструменту в горизонтальній площині (рис. 14а), при довбанні – у вертикальній (рис. 14б), тоді як заготовці надається дискретне, прямолінійний або криволінійний рух в кінці зворотного ходу інструменту.



а



б

Рисунок 14 – Технологічні схеми стругання (а) та довбання (б) [19]

Залежно від напрямку руху подачі розрізняють: стругання зовнішніх горизонтальних, вертикальних, фасонних/похилих поверхонь, пазів та рифлень (рис. 14а), а довбання для зовнішніх і внутрішніх вертикальних плоских або фасонних поверхонь (рис. 14б).

Геометрія стругальних та довбальних різців подібна токарним, які поділяються на:

- за призначенням (за типом) на прохідні, підрізні, канавочні, фасонні, та чистові;
- за формою головки і її розташуванням щодо державки поділяються на прямі, відігнуті, зігнуті, з відтягнутою головкою;
- у напрямку подачі на праві, ліві і працюють на врізання;
- по конструкції ріжучої частини на цілісні, з напаяними пластинами, з механічним кріпленням ріжучої пластинки.

Оброблювані заготовки невеликих розмірів та простих форм встановлюють на верстаті в лещатах. Великі заготовки та заготовки складних форм встановлюються безпосередньо на столі, що має Т-образні пази, і закріплюються прихватами, призматичними або клиновими підкладками; упорами-притискачами. Циліндричні заготовки базуються за допомогою призм.

Таким чином, на поперечно-стругальному верстаті різець робить зворотно-поступальний рух  $V$  (м/хв), а заготовка – рух поперечної подачі  $S_n$  (мм/дв. хід) у горизонтальній площині. Рух поперечної подачі відбувається періодично після кожного подвійного ходу різця. При цьому, глибина різання встановлюється вертикальним переміщенням різця  $S_t$  (мм).

Глибина різання, подача та швидкість різання визначаються згідно існуючих нормативів по таблицях, а число подвійних рухів різця за хвилину  $n$  (подв.хід/хв) розраховується за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{L(1 + k)},$$

де  $V$  – швидкість різання (м/хв);  $L$  – розрахункова довжина ходу різця (мм);  $k$  – відношення швидкості робочого ходу  $V_{px}$  (м/хв) до швидкості холостого ходу  $V_{xx}$  (м/хв),  $k = V_{px} / V_{xx}$ .

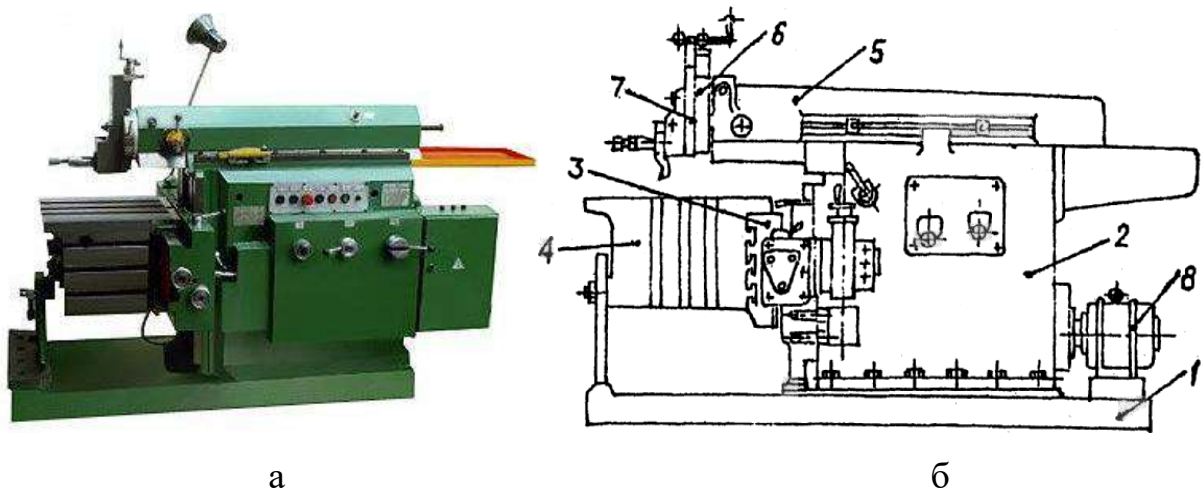
### ***Основні вузли поперечно-стругального верстата та їхнє призначення***

На рисунку 15а показано зовнішній вигляд поперечно-стругального верстата. На ньому обробляються заготовки з довжиною обробки не більше 1000 мм. Вертикальний супорт можна повертати навколо горизонтальної осі для стругання похилих площин.

Основні вузли горизонтально-фрезерного верстата позначено на рисунку 15б, фундаментна плита 1 служить для установки і закріплення верстата на фундаментній підставці підлоги. Станина 2, у якій змонтована коробка швидкостей верстата і кулісний механізм, що забезпечує зворотно-поступальний рух інструменту. Траверса 3 переміщається по вертикальних напрямних станини. Цим переміщенням користуються при настроюванні верстата на обробку різних по габаритних розмірах заготовок. Стіл 4 встановлений на траверсі, де кріплять оброблювану заготовку. Повзун 5 робить по горизонтальних напрямних станини зворотно-поступальний рух. Довжина ходу повзуна регулюється. Вертикальний супорт 6 закріплений на торці повзуна і може встановлюватися під кутом (має свій механізм вертикального переміщення різця). Різцетримач 7, у якому закріплюється стругальний різець,



зроблений відкидним завдяки шарніру. Така конструкція забезпечує вільний прохід різця при холостому ході повзуна.



1 – фундаментна плита; 2 – станина; 3 – траверса; 4 – стіл; 5 – повзун;  
6 – супорт; 7 – різцетримач; 8 – електродвигун

Рисунок 15 – Загальний вигляд (а) та схема (б) поперечно-стругального верстата [20]

На відміну від поперечно-стругального верстатів, на поздовжньо-стругальних верстатах (не показано) обробляють великі, важкі заготовки. Хід столу у цих верстатів 1,5...12 м, ширина стругання 0,7...4 м. Також, слід зазначити, що недоцільно обробляти довбанням довгі поверхні, так як будуть потрібні різці з великим вильотом, що призведе до значних деформацій та руйнування різця.

### ***Обробка на плоскошліфувальному верстаті***

При шліфуванні інструментом служить абразивний шліфувальний круг. Шліфуванням роблять чистову й оздоблювальну обробку деталей з високою точністю. Шліфують найрізноманітніші матеріали, а для заготовок із загартованих сталей шліфування – найбільш розповсюджений метод чистової обробки.

При шліфуванні (рис. 16) головним рухом є обертання шліфувального круга  $V$  (м/с). Заготовка переміщується в зворотно-поступальному напрямку поздовжньою подачею  $S_{\text{пд}}$  (мм/хв). Для обробки поверхні на всю ширину заготовка або шліфувальний круг переміщуються переривчасто з поперечною подачею  $S_{\text{п}}$  (мм/дв.хід) після кожного подвійного поздовжнього ходу. Періодично здійснюється і



подача  $S_t$  (мм) на визначену глибину різання наприкінці поперечного ходу.

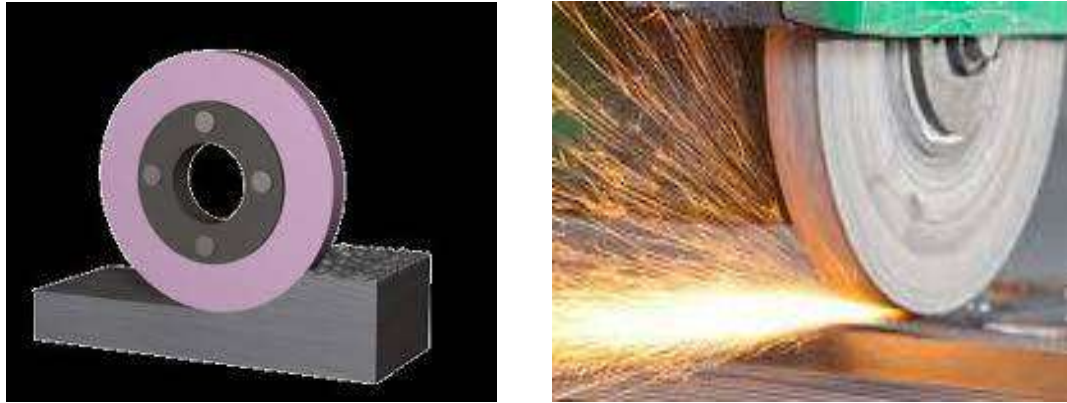
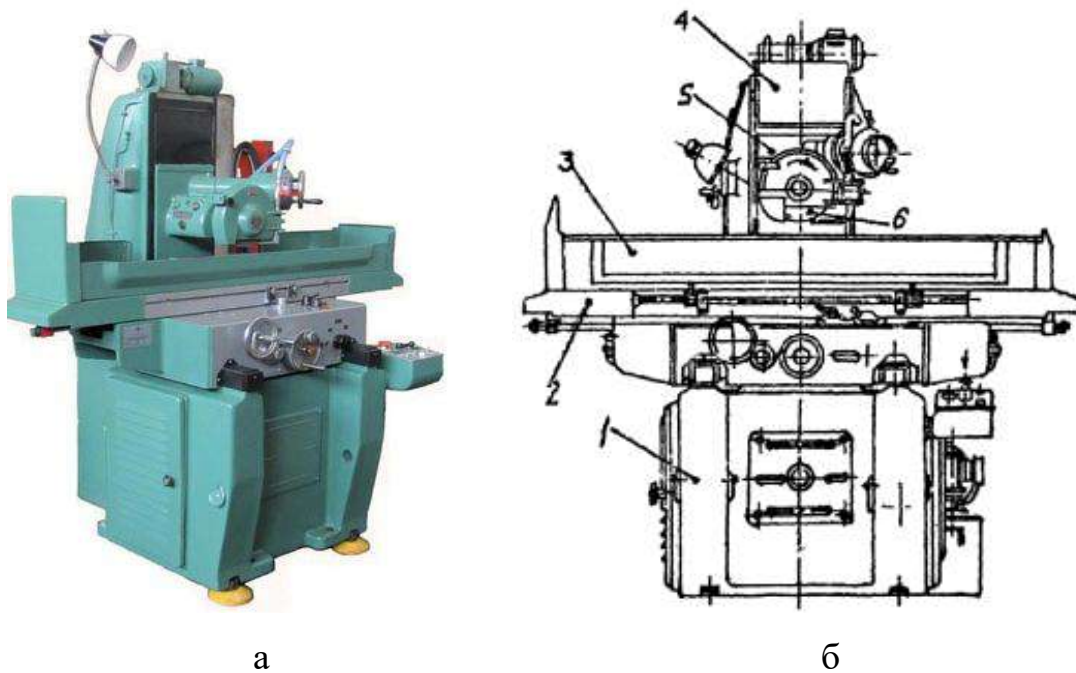


Рисунок 16. – Схема процесу шліфування на плоскошліфувальному верстаті [21]

Зовнішній вигляд плоскошліфувального верстата показано на рисунку 17а, схематичний вигляд плоскошліфувального верстату – на рисунку 17б.



1 – станина; 2 – стіл; 3 – магнітна плита; 4 – стійка з вертикальними напрямними;  
5 – шліфувальна бабка; 6 – шліфувальний круг

Рисунок 17 – Загальний вигляд (а) та схема (б) плоскошліфувального верстата [22]

Плоскошліфувальний верстат складається з станини 1 з фундаментною плитою.

Усередині станини розташований гідравлічний механізм поздовжнього переміщення і електроустаткування. Стіл 2 переміщується по подовжніх напрямних станини. Магнітна (електромагнітна) плита 3 закріплена на поздовжньому столі верстата; на ній встановлюється заготовка, що шліфуються, чи кріпильні пристрої. Шліфувальна бабка 5 переміщується разом зі шліфувальним кругом у поперечному і вертикальному напрямках. Шліфувальний круг 6 встановлюється на шпинделі шліфувальної бабки.

### ***Елементи режиму різання***

*Режим різання* при шліфуванні визначається швидкістю різання, яка обмежується міцністю шліфувального круга, швидкістю подачі (поздовжньою, поперечною та тангенціальною) та глибиною різання.

Швидкість різання обирають залежно від виду зв'язки, профілю круга та швидкості подачі з урахуванням отримання найбільшої продуктивності, необхідної чистоти поверхні при мінімальному зношуванні (табл. 1).

Таблиця 1 – Максимально допустимі швидкості різання шліфувальних кругів (м/с)

Форма круга	Позначення форми круга	Вид зв'язки		
		Керамічна	Бакелітова	Вулканітова
Плоский прямий	ПП	30...35	40	35
Дисковий	Д	-	50	50
Чашковий конічний	ЧК	25...30	30...35	-
Чашковий циліндричний	ЧЦ	25...30	30...35	-
Тарілчастий	Т	25	30	20

Швидкість подачі шліфувальних кругів та глибину різання при плоскому шліфуванні обирають за задими згідно табл. 2.

Таблиця 2 – Величини швидкості подачі та глибини різання при плоскому шліфуванні

Матеріал оброблюваної заготовки	Характер шліфування	Величина поздовжньої подачі $S_{пд}$ , мм/хв	Величина поперечної подачі у частках ширини крига на хід стола	Глибина різання $t$ , мм
Конструкційні сталі	Чорнове	8...30	0,4...0,7	0,02...0,06
	Чистове	15...20	0,2...0,3	0,015...0,020
Чавуни	Чорнове	20...85	0,5...0,8	0,015...0,1
	Чистове	15...30	0,2...0,3	0,005...0,020
Інструментальні матеріали	Чорнове	3...8	0,04...0,10	0,05...0,15
	Чистове	3...8	0,02...0,06	0,010...0,015

### *Приклад виконання індивідуального завдання*

Деталь (втулка) (рис. 18) доцільно починати обробляти на токарно-гвинторізному верстаті, так як вона є тілом обертання, а центральний отвір має різьбу. Заготовку затискають в трьохкулачковому патроні. Спочатку необхідно точити торець відігнутим прохідним різцем, а потім свердлом, закріпленим в пінолі задньої бабки, свердлять отвір, трохи менше внутрішнього діаметра різьби (рис. 19а).

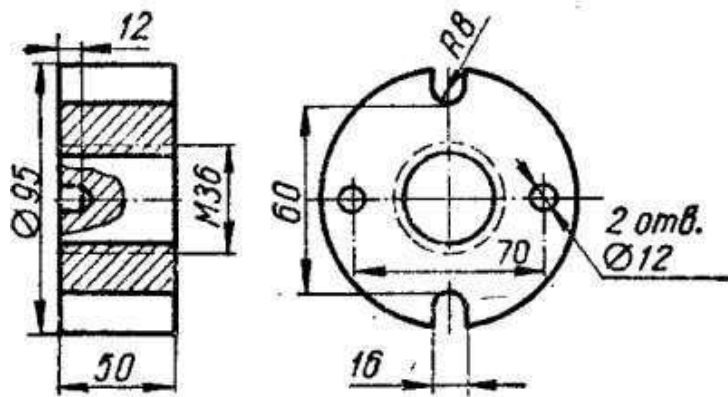
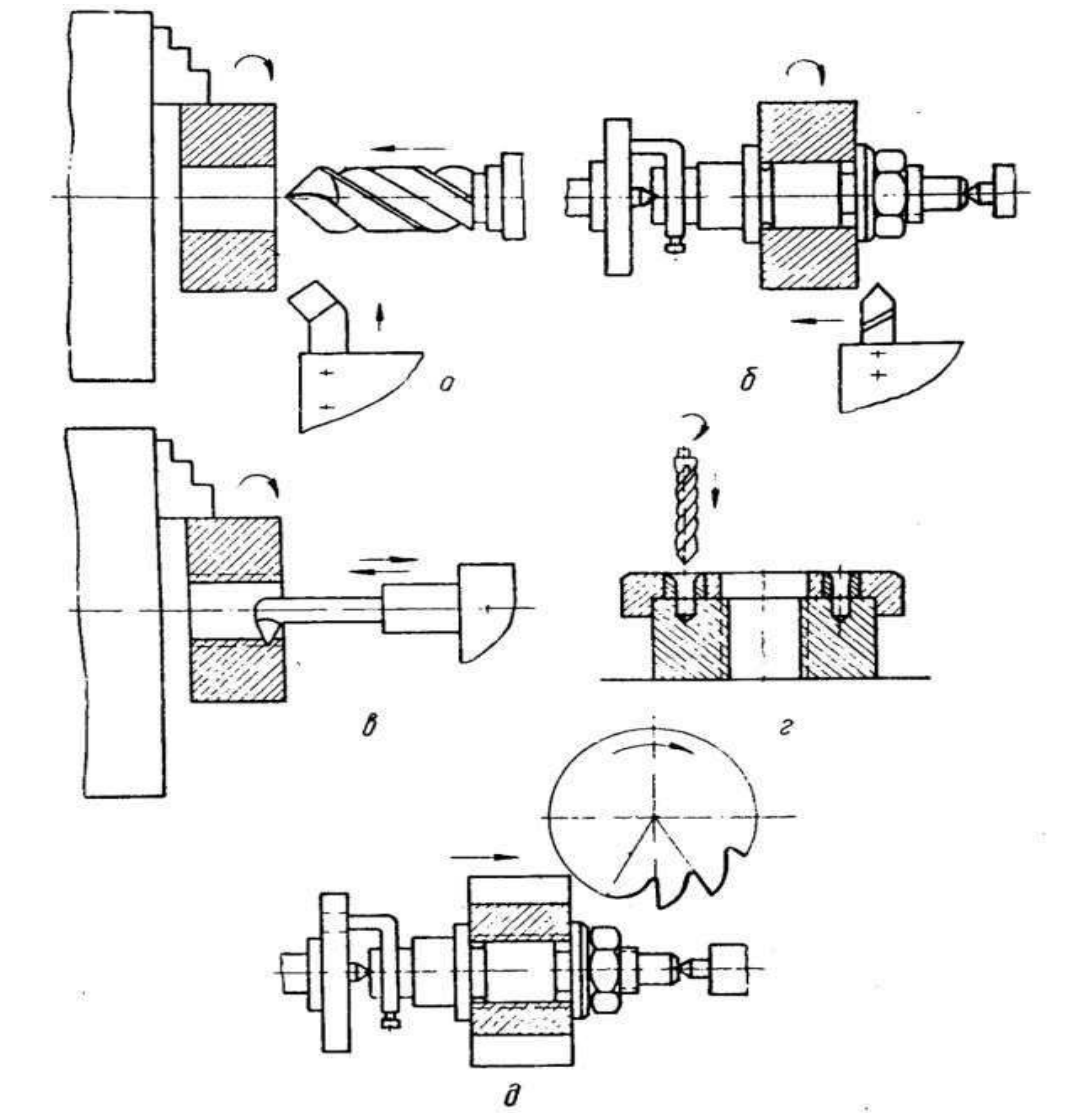


Рисунок 18 – Деталь втулка

Потім заготовку встановлюють на оправці і піддають точінню зовнішню поверхню (рис. 19б). Після цього заготовку знову закріплюють в трьохкулачковому патроні, підрізають протилежний торець і розточують розточувальним різцем отвір до розміру, рівного внутрішньому діаметру різьби. Після цього різьбовим різцем нарізають внутрішню різьбу М36 (рис. 19в). На вертикально-свердлильному верстаті за допомогою накладного кондуктора в деталі свердлять два отвори

діаметром 12 мм (рис. 19г).



а – точіння торця з наступним свердлінням; б – точіння зовнішньої поверхні;  
в – нарізання внутрішньої різьбу; г – свердління отворів; д – фрезерування пазів;

Рисунок 19 – Схема технологічних операцій обробки деталі втулки

На фрезерному верстаті фасонною фрезою фрезерують пази шириною 16 мм. При цьому деталь повинна бути встановлена на спеціальній оправці та фіксована за отворами діаметром 12 мм, так як осі отворів і пазів розташовані під кутом  $90^\circ$ . Для повороту оправки на кут  $180^\circ$  може бути використана універсальна ділильна головка (рис. 19д), що дозволяє закріплювати й повертати заготовку періодично або безперервно відносно осі.

При виготовленні заданої деталі-втулка застосовувалися такі види обробки, як

точіння, свердління, фрезерування. Відповідно до завдання вказуємо елементи режиму різання і формулу основного (технологічного) часу для одного з видів обробки – фрезерування.

При фрезеруванні розрізняють наступні елементи режиму різання:

1. Глибина різання  $t$  (мм) – товщина шару металу, що знімається з оброблюваної деталі за один прохід фрези.
2. Подача – переміщення оброблюваної деталі щодо осі фрези.

При фрезеруванні розрізняють подачу на один зуб фрези –  $S_z$  (мм/зуб), подачу на один оборот фрези –  $S_0$  (мм/об) і подачу за одну хвилину –  $S_M$  (мм/хв). При цьому:

$$S_M = S_0 n = S_z z n,$$

де  $n$  – число обертів фрези за хвилину;  $z$  – число зубців фрези.

### ***Порядок проведення роботи***

1. Перед виконанням роботи переглянути відеоматеріали за наступними посиланнями:

1.1. Різальний інструмент та фрезерні верстати

[[https://www.youtube.com/watch?v=Vt6Zr\\_I3s6I&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=Vt6Zr_I3s6I&ab_channel)]

1.2. Геометрія ріжучих інструментів (різці та фрези)

[[https://www.youtube.com/watch?v=bbMbFvsRTJo&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=bbMbFvsRTJo&ab_channel)]

1.3. Універсальний фрезерний верстат VHF-1

[[https://www.youtube.com/watch?v=PDf2Vy8YGCg&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=PDf2Vy8YGCg&ab_channel)]

1.4. Фрезерний верстат моделі VMC70

[[https://www.youtube.com/watch?v=RRjkJtsTUs0&feature=emb\\_logo&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=RRjkJtsTUs0&feature=emb_logo&ab_channel)]

1.5. Фрезерування з ЧПК [[https://www.youtube.com/watch?v=QL-K3-ODK4s&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=QL-K3-ODK4s&ab_channel)]

1.6. Фрезерування з ЧПК

[[https://www.youtube.com/watch?v=WcOkOWO2wb0&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=WcOkOWO2wb0&ab_channel)]

1.7. Точіння/фрезерування з ЧПК

[[https://www.youtube.com/watch?v=5koA0Yd9SFC&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=5koA0Yd9SFC&ab_channel)]

1.8. Зенкування, цинкування і розгортання циліндричних отворів

[[https://www.youtube.com/watch?v=s0SHj8ykIIQ&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=s0SHj8ykIIQ&ab_channel)]

#### 1.9. Процес виробництва передач

[[https://www.youtube.com/watch?v=ce5Xng308KM&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=ce5Xng308KM&ab_channel)]

#### 1.10. Обробка на плоскошліфувальному верстаті

[[https://www.youtube.com/watch?v=gcWj4OcteTk&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=gcWj4OcteTk&ab_channel)]

#### 1.11. Обробка на поперечно-стругальному верстаті

[[https://www.youtube.com/watch?v=ez2xebWiN5o&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=ez2xebWiN5o&ab_channel)]

2. Ознайомитись з будовою і принципом роботи вертикально-фрезерного, горизонтально-фрезерного, поперечно-стругального та плоскошліфувального верстатів.

3. Ознайомитись з процесами обробки деталей на фрезерних, поперечно-стругальному та плоскошліфувальному верстатах на різних режимах різання.

4. Згідно індивідуального завдання (додаток 1, рис. 20–22) [23], розробити/накреслити ескіз заданої деталі та схеми технологічних операцій обробки, описавши процес обробки деталі (див. підрозділ "Приклад виконання індивідуального завдання"). Вибрати необхідні верстати та різальні інструменти, а також визначити елементи режиму різання.

### **Запитання**

1. Які типи верстатів призначені для обробки плоских поверхонь деталей?

2. Назвіть основні вузли вертикально- та горизонтально-фрезерного верстата?

3. Які типи фрез використовують на фрезерних верстатах?

4. Який принцип роботи поперечно-стругального верстата та які інструменти використовують при роботі на ньому?

5. Призначення плоскошліфувального верстата та які інструменти використовують при шліфуванні?

6. Як визначається режим різання при фрезеруванні, струганні та плоскому шліфуванні?

7. Як впливає на шорсткість поверхні деталі зміна величини поперечної подачі на поперечно-стругальному верстаті?

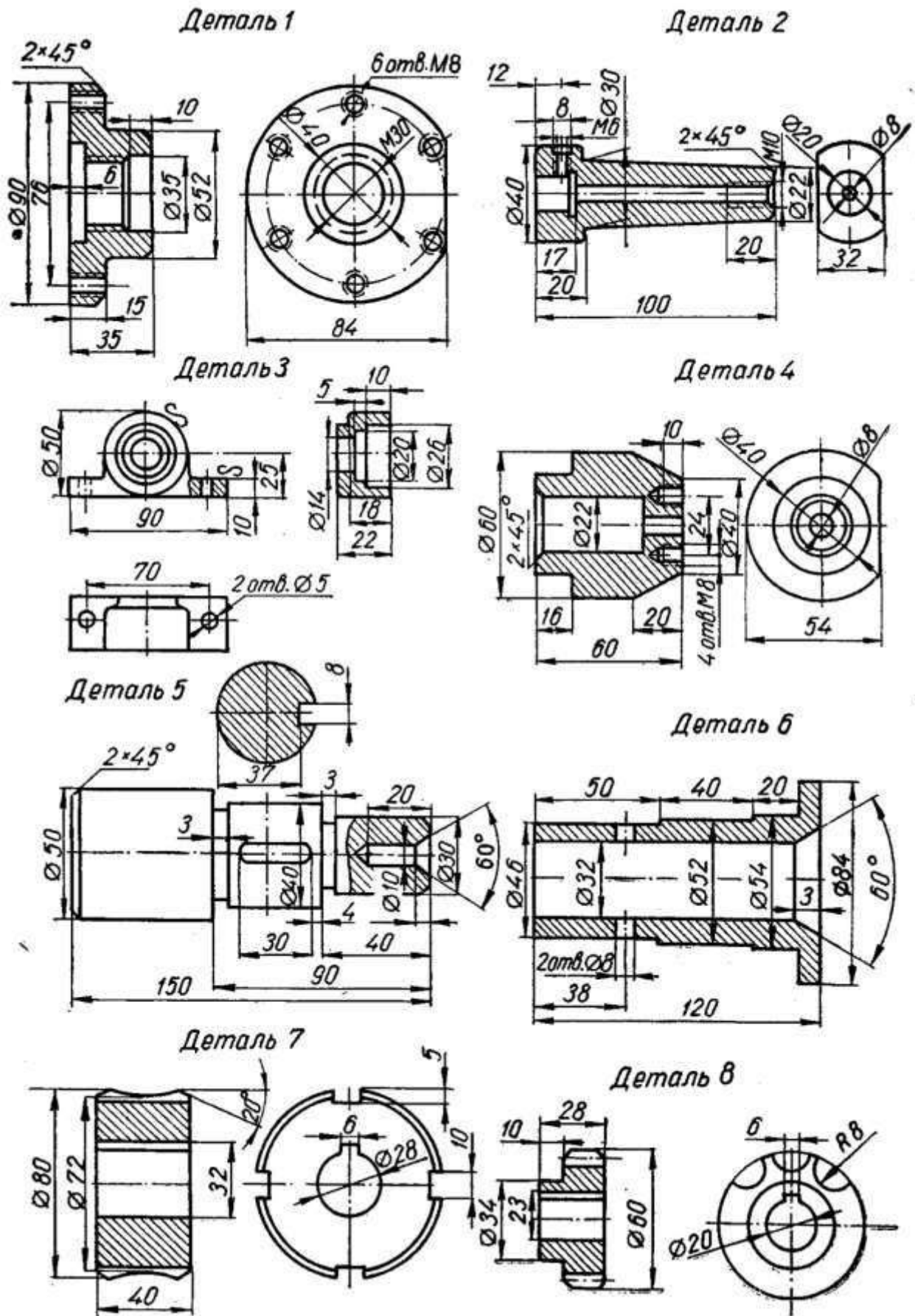


Рисунок 20 – Індивідуальні завдання №1–8



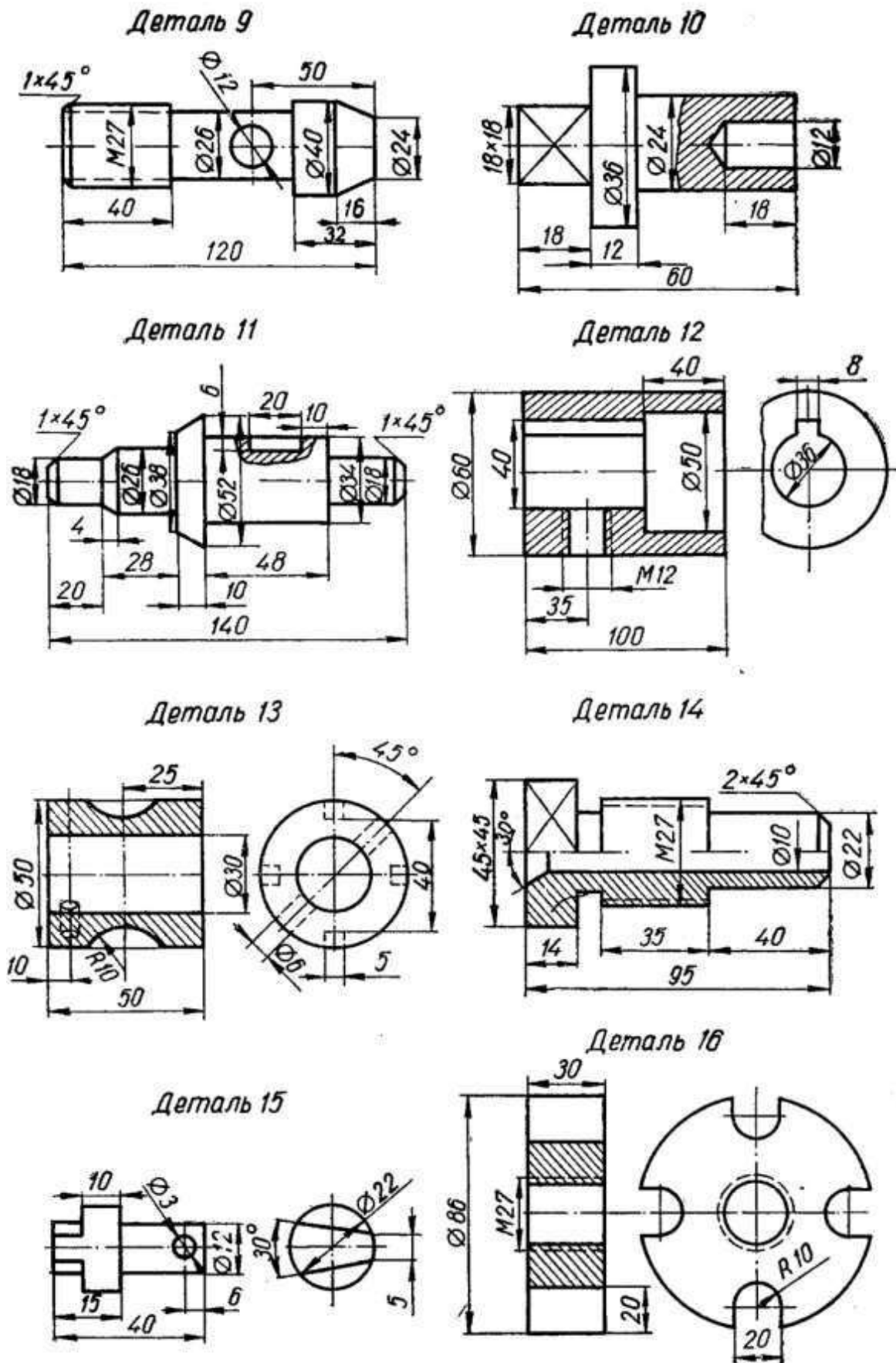


Рисунок 21 – Індивідуальні завдання №9–16



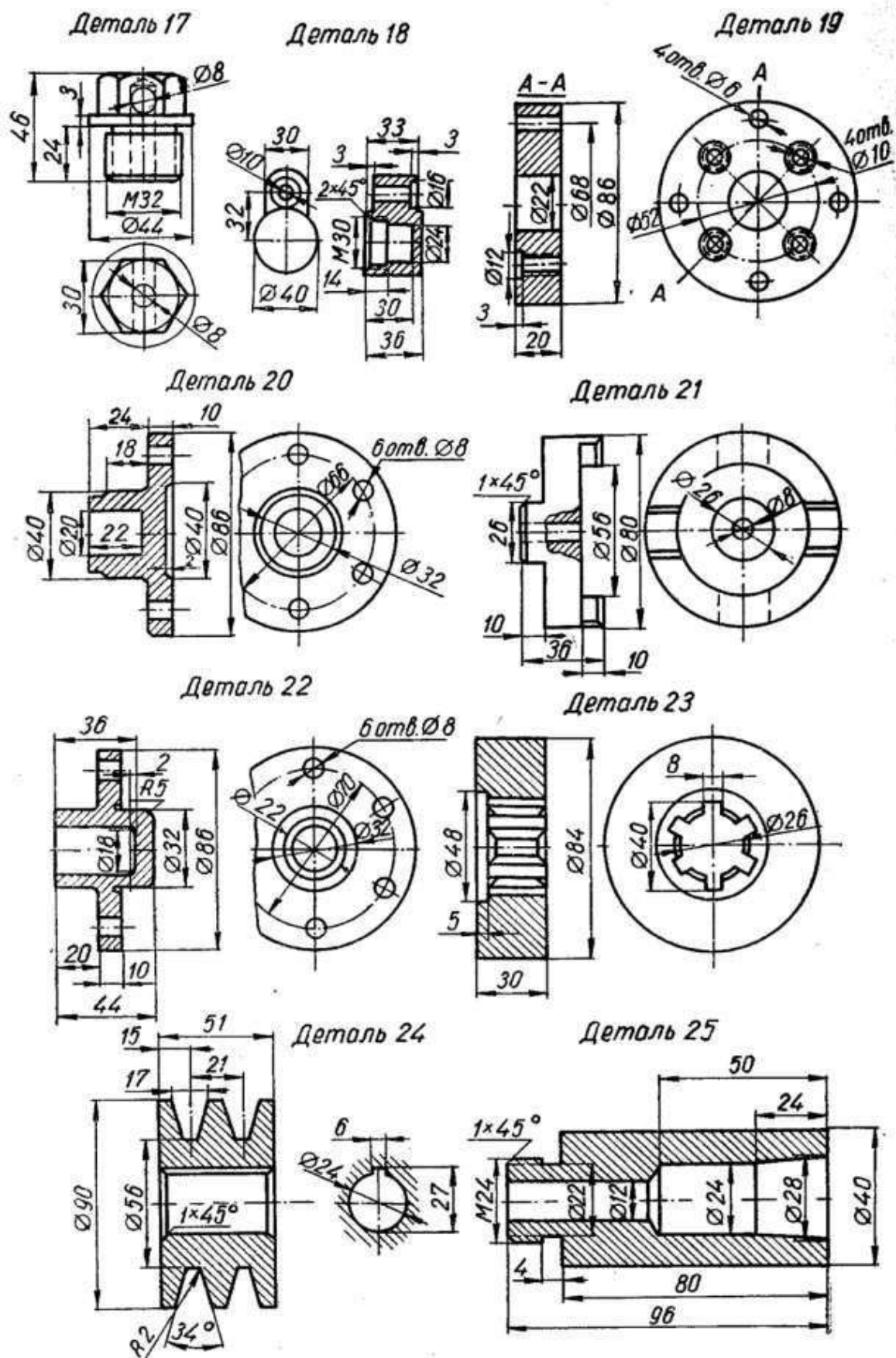


Рисунок 22 – Індивідуальні завдання №18–25

### Лабораторна робота № 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ПЛОСКИХ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

**Мета роботи:** вивчити основні функції та параметри програмування лінійної та кругової інтерполяції, навчитися складати кадри керуючої програми для обробки плоских металевих поверхонь деталей на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК).

### *Теоретичні відомості*

Деталі, які обробляються на верстаті з числовим програмним керуванням (ЧПК) можна розглядати, як геометричні об'єкти [24]. Під час обробки заготовка та інструмент, який обертається, переміщаються відносно один одного по деякій траєкторії (рис. 1а).

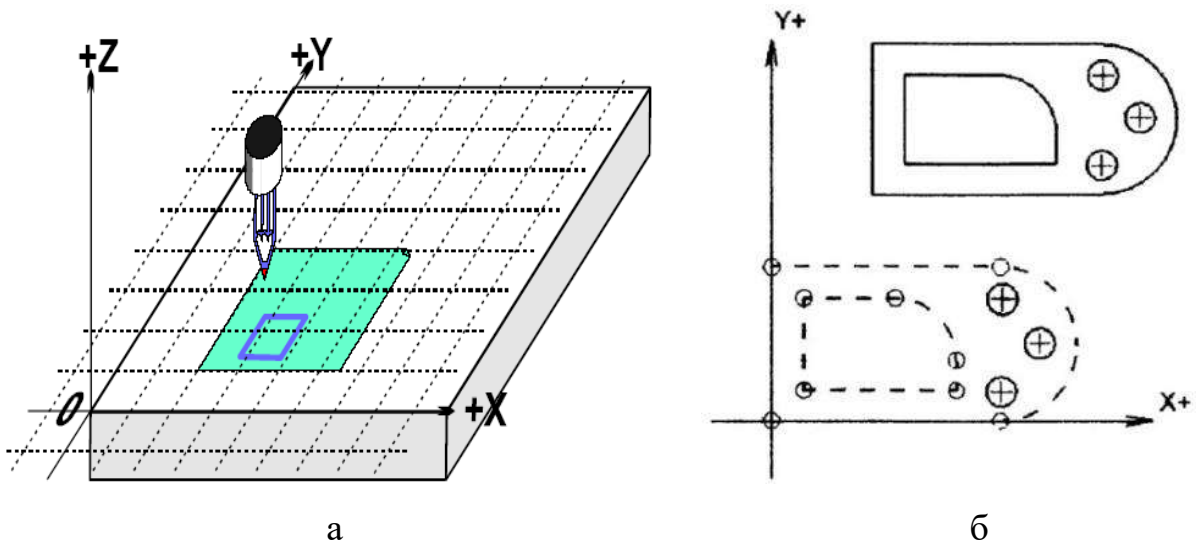


Рисунок 1 – Схема координатної системи верстата (а) та схема координат опорних точок (б)

Керуюча програма (КП) описує рух визначеної точки інструменту – його центру. Траєкторію інструменту представляють складовою із окремих перехідних один в одну ділянок. Ці ділянки можуть бути прямими лініями,

колами, дугами кіл, криві другого і вищих порядків. Точки перетину цих ділянок називаються опорними або вузловими точками. Як правило, координати саме опорних точок містяться в КП.

Будь-яку деталь можна представити у виді сукупності геометричних елементів. Для створення програми обробки необхідно визначити координати опорних точок (рис. 1б).

### ***Лінійна інтерполяція - G00 та G01***

Лінійна інтерполяція передбачає переміщення по прямій лінії в 3-х координатному просторі. Перед початком інтерполяційних розрахунків система ЧПК визначає довжину шляху на основі запрограмованих координат. В процесі переміщення інструменту здійснюється контроль контурної подачі так щоб її величина не перевищувала допустимих величин. Переміщення по всім координатам повинно завершитись одночасно.

Код G00 – це прискорене переміщення до кінцевої точки або до безпечної позиції здійснюється по прямій лінії з максимальною швидкістю подачі. Прискорене переміщення ніколи не використовується для виконання обробки, так як швидкість руху виконавчого органу верстата дуже висока. Код G00 скасовується кодами G01, G02 та G03.

На відміну від коду G00, код G01 використовується для виконання прямолінійних переміщень з початкової точки в кінцеву точку із заданою швидкістю подачі ( $F$ ) (рис. 2). При програмуванні задаються координати кінцевої точки в абсолютних (G90) або відносних (G91) значеннях з відповідними адресами переміщень (наприклад X, Y, Z). Код G01 скасовується кодами G00, G02 та G03.

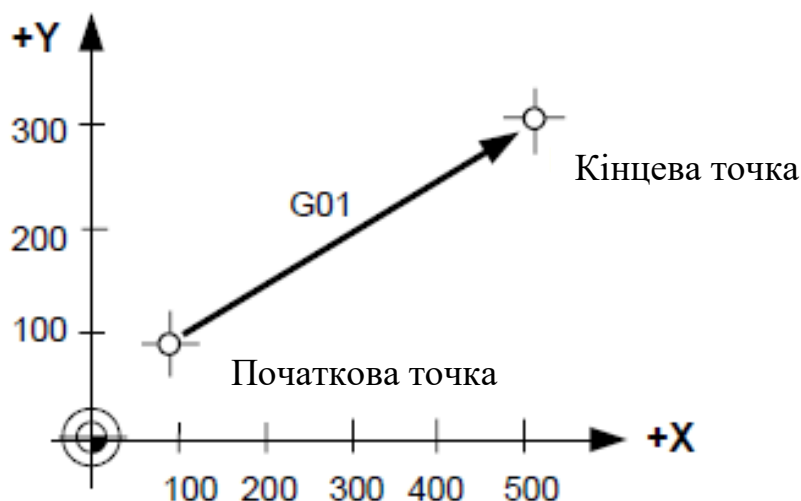


Рисунок 2 – Лінійна інтерполяція з використанням коду G01 [6]

### ***Кругова інтерполяція - G02 та G03***

Коди G02 та G03 призначені для виконання кругової інтерполяції. Код G02 використовується для переміщення по дузі за годинниковою стрілкою, а G03 – проти годинникової стрілки.

Є два способи для формування кадру кругової інтерполяції:

G02 X\_. Y\_. Z\_. I\_. J\_. K\_. F\_. (параметри інтерполяції I, J, K)

G02 X\_. Y\_. Z\_. R\_. F\_. (радіус R)

У першому варіанті для виконання кругової інтерполяції переміщення вказують: код G02 (G03); координати кінцевої точки дуги; I, J, K – слова даних (параметри інтерполяції) і швидкість робочої подачі F.

На відміну від першого варіанту, в другому варіанті замість I, J, та K вказують радіус R. Вибір варіанту запису кадру кругового переміщення залежить від можливостей ЧПК і звички оператора. Більшість сучасних верстатів з ЧПК підтримують обидва варіанти.

В кадрі з кодом кругової інтерполяції необхідно вказувати координати кінцевої точки переміщення (дуги). Якщо крім X і Y в кадрі є Z слово даних, то це означає, що виконується гвинтова інтерполяція.

Гвинтова інтерполяція, яка підтримується не всіма система ЧПК, дозволяє виконувати фрезерування різьби та забезпечує плавне гвинтове врізання інструменту в матеріал заготовки.

### ***Програмування кола за допомогою координат її центра $I(X)$ , $J(Y)$ та $K(Z)$***

Параметри інтерполяції  $I$ ,  $J$  та  $K$ , які визначають координати центру дуги кола в обраній площині, програмуються в збільшеннях від початкової точки до центру кола, в напрямках, паралельних осях  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  відповідно (рис. 3).

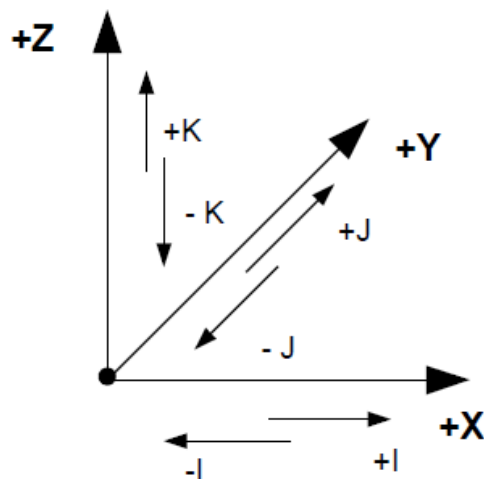


Рисунок 3 – Кругова інтерполяції з використанням параметрів  $I$ ,  $J$ , та  $K$

На рисунку 3:  $I = M(X) - A(X)$ ;  $J = M(Y) - A(Y)$ ;  $K = M(Z) - A(Z)$  – параметри інтерполяції;  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  – координатні вісі, яким задані відповідні параметри  $I$ ,  $J$ , та  $K$ ;  $M$  – центр кола, який заданий відносно початкової точки дуги кола.

Коло, яке задане координатами центру, проходить через початкову  $A$  і кінцеву  $E$  його точку (рис. 4а). Параметри встановлюють відстань між початковою точкою і центром  $M$  дуги кола в напрямку, який паралельний осям. Знак визначається в напрямку вектора від  $A$  до  $M$  (рис. 4а).

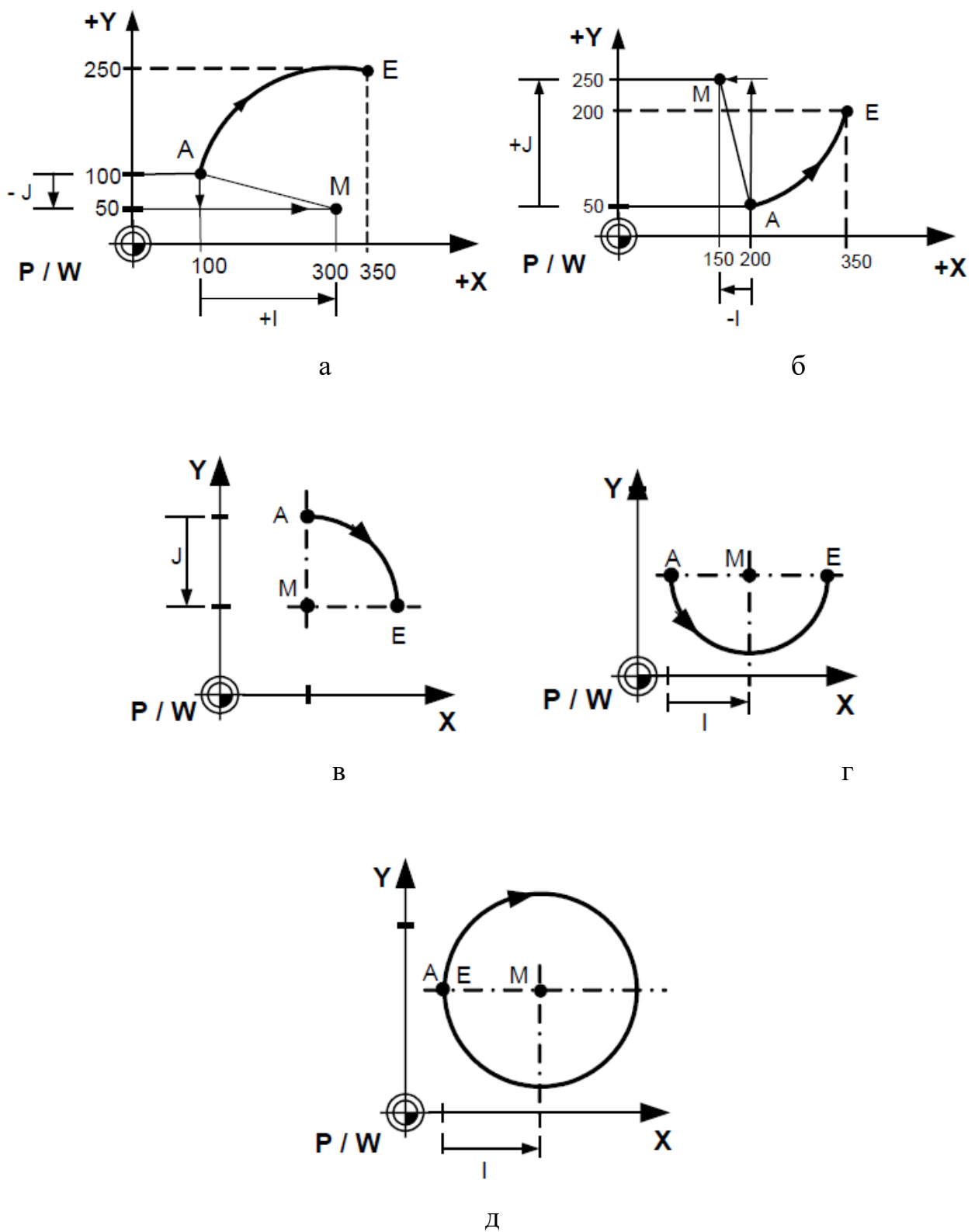


Рисунок 4 – Програмування дуги кола за годин. (а) і проти годин. стрілки (б); програмування чверті кола (в), півкола (г) та повного кола (д) [6]

Розглянемо різні приклади програмування кругової інтерполяції.

Кадр відповідно для програмування дуги кола за годинникової (рис. 4а) та проти годинникової стрілки (рис. 4б) має вигляд:

N...G90G17G2X350Y250I200J-50F...S...M...;

N...G90G17G3X350Y200I-50J200F...S...M...;

де  $P$  – нульова точка координатної системи (PCS – координатна система керуючої програми);  $W$  – нульова точка координатної системи деталі (PCS – координатна система деталі);  $N$  – порядковий номер; G90 – програмування в абсолютних координатах; G17 – програмування в площині  $X\_Y$ ; G2 – кругова інтерполяція за годинниковою стрілкою; G3 – кругова інтерполяція проти годинникової стрілки; X350Y250 – координати по вісі від 0 ( $P/W$ ) до 350 по вісі  $X$  і відповідно 250 по вісі  $Y$ ; I200 – параметр, який відповідає вісі  $X$  і дорівнює 200 мм; J-50 – параметр, який відповідає вісі  $Y$  і дорівнює -50 мм; F...S...M... – відповідно функція подачі і шпинделя, а також допоміжна функція.

Кадр для програмування чверті кола (рис. 4в), використовуючи параметри інтерполяції, виглядає наступним чином:

N...G17G2X...Y...J-...F...S...M...;

Слід відзначити, що один із параметрів інтерполяції завжди дорівнює нулю, і немає потреби записувати його в програмі. В даному випадку параметр  $I$ .

Кадр для програмування півкола (рис. 4г):

N...G17G3X...I...F...S...M...;

При цьому вісі  $Y$  координати початкової та кінцевої точок співпадають. Переміщення по цій координаті в кадрі не вказують, як і параметр інтерполяції  $J$ .

Кадр для програмування кола (рис. 4д) є наступним:

N...G17G2I...F...S...M...;

Видно, що координати початкової і кінцевої точок співпадають. Приріст по обом координатам вказувати в кадрі не потрібно. Якщо початкова і кінцева

точки лежать на границі квадратів, то один із параметрів інтерполяції буде дорівнювати нулю, і його можна не вказувати. Так і в приведеному прикладі можуть бути опущені функції  $X$ ,  $Y$  і  $J$ .

### *Програмування кола за допомогою радіуса*

Більш простий спосіб програмування центру дуги є застосування адресу  $R$  (радіуса) (рис. 5). Якщо ваша стійка підтримує такий формат для кругової інтерполяції, система числового програмного керування (СЧПК) самостійно проведе необхідні розрахунки для визначення координат центра дуги.

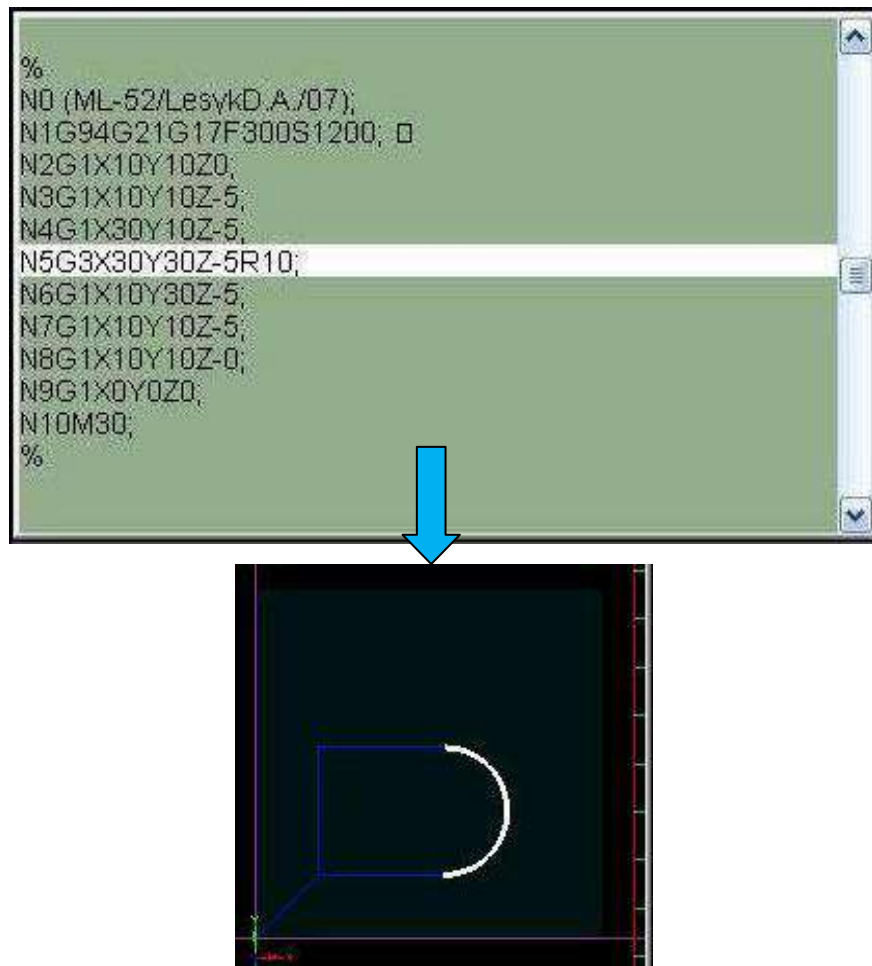


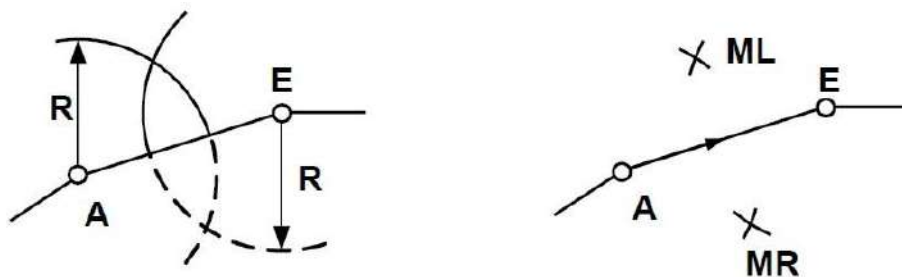
Рисунок 5 – Програмування півкола радіусом  $R = 10$  мм в системі Mach3

Більшість СЧПК при роботі з  $R$  потребують, щоб коло було розбито на декілька сегментів. Радіус завжди задають у відносних координатах; у



відмінності від кінцевої дуги точки, яка може бути задана як у відносних координатах, так і в абсолютних координатах. Використовуючи положення початкової  $A$  і кінцевої  $E$  точок, а також значення радіуса, система ЧПК перш за все визначає координати центра кола.

Результатом розрахунку можуть бути координати двох точок,  $ML$  та  $MR$  (рис. 6), розташованих відповідно зліва та справа від прямої, яка з'єднує початкову та кінцеву точки.



$A$  – початкова точка,  $E$  – кінцева точка,  $R$  – радіус,

$ML$  – лівий центр,  $MR$  – правий центр

Рисунок 6 – Координати двох точок [6]

Розташування центру кола залежить від знака радіуса; при позитивному радіусі центр буде знаходитись зліва, а при негативному радіусі - справа. Розташування центру визначається також адресою  $G02$  та  $G03$  (рис. 7).

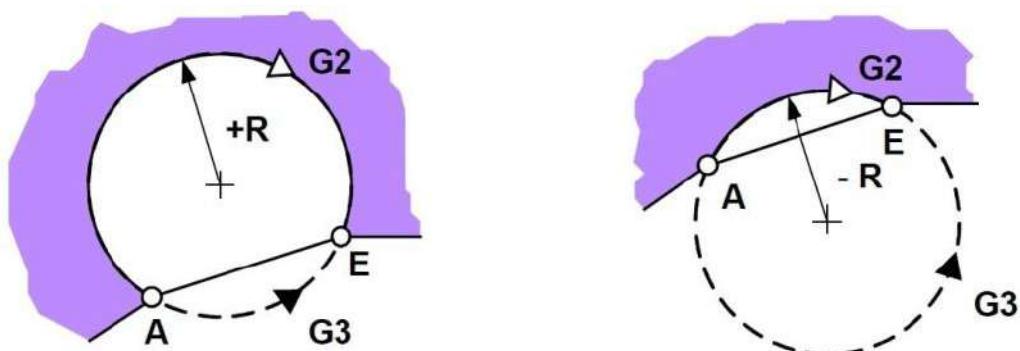


Рисунок 7 – Розташування центру кола [6]

Як бачимо на рисунку 7, величина радіуса має бути, по крайній мірі, вдвічі більшою, чим довжина відрізка, яка з'єднує початкову та кінцеву точки дуги кола. Особливим випадком є рівність відрізка подвійному значенню радіуса. Це випадок відповідає, коли задаємо півкола. Знак радіуса при цьому немає значення. Програмування повного кола через вказування радіуса неприпустимо.

На рисунку 8 приведено спрощену програму для фрезерування канавки (паза) глибиною 5 мм, де опорні точки переміщення інструменту (фрези) вказано через T1, T2, T3 та T4.

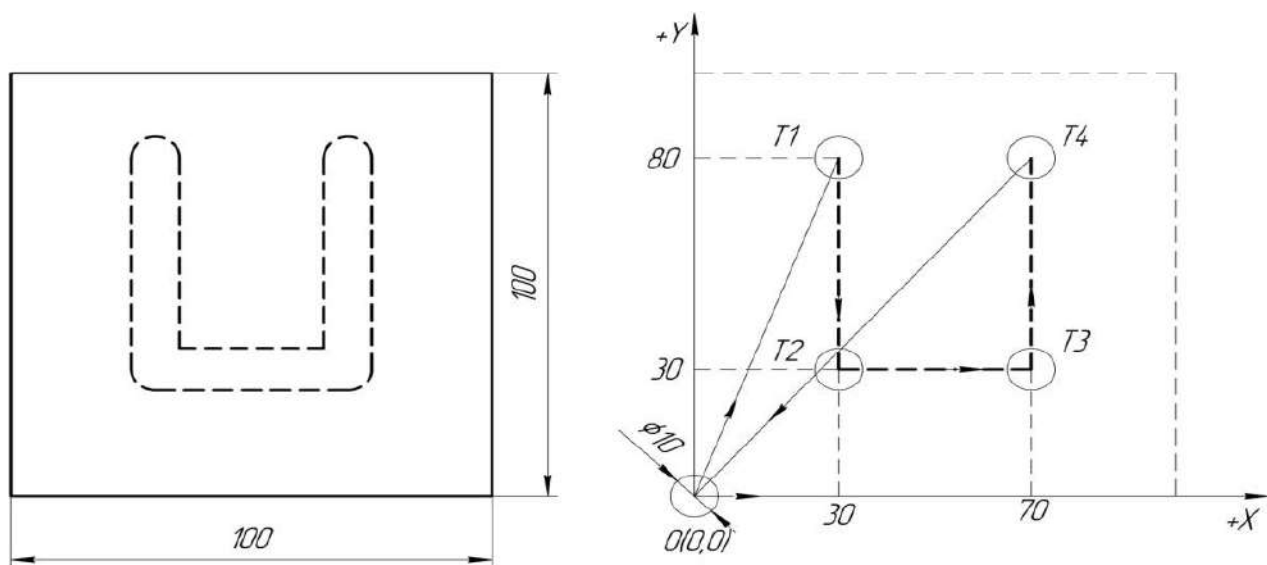


Рисунок 8 – Ескіз заготовки та розташування її в прямокутній системі координат X\_Y

Для фрезерування канавки спочатку потрібно перемістити фрезу в точку T1 і опустити її на відповідну глибину. Далі необхідно переміщати фрезу послідовно через всі опорні точки і вивести інструмент у верх із матеріалу заготовки. Знайдемо координати всіх опорних точок канавки і для зручності помістимо їх в таблицю 1.

Таблиця 1 – Координати опорних точок канавки/пазу

Точка	Координати по вісі X	Координати по вісі Y
T1	30	80
T2	30	30
T3	70	30
T4	70	80

Підводимо ріжучий інструмент до першої опорної точки за допомогою наступного кадру:

N05G00X30Y80

Наступні два кадри змушують інструмент опуститися на необхідну глибину в матеріал заготовки:

N06G00Z4

N07G1Z-5F250

Як тільки інструмент опиниться на необхідній глибині (5 мм), можна переміщати його через всі опорні точки для фрезерування канавки (пазу) з використанням функції G01:

N08G01X30Y30

N09G01X70Y30

N010G01X70Y80

Тепер слід вивести інструмент із матеріалу заготовки – підняти на невелику висоту:

N011G01Z4

Відводимо інструмент в нульову точку O, використовуючи прискорене переміщення інструменту функцією G00:

N012G00X0Y0Z0

Зберемо всі кадри разом, добавивши декілька допоміжних команд і отримаємо кінцевий варіант програми (табл. 2).

Таблиця 2 – Програма для фрезування пазу згідно ескізу заготовки

Кадри КП	Пояснення
%	Символ початку програми
N00 (Група/Фамілія/Варіант);	Номер програми (00) і її назва (...), ; - пропуск кадру
N01G17G21G40G49G54G90G94;	Стрічка безпеки (G17 – площина X_Y, G21 – програмування в мм, G40 – відміна автоматичної компенсації на радіус інструменту, G49 – відміна компенсації довжини інструменту, G54 – активація робочої координатної системи), G90 – робота в абсолютних координатах, G94 – швидкість подачі в мм/хв)
N02M6T1;	Виклик інструменту №1 (Фреза D1)
N03G43H1;	Компенсація довжини інструменту №1
N04M3S800;	Увімкнення обертів шпинделя (800 об/хв)
<b>N05G00X30Y80;</b>	<b>Прискорене переміщення до опорної точки T1</b>
<b>N06G00Z4;</b>	<b>Прискорене переміщення інструменту в Z4 (T1)</b>
<b>N07G01Z-5F200;</b>	<b>Переміщення на глибину -5 мм при подачі 200 мм/хв</b>
<b>N08G01X30Y30;</b>	<b>Переміщення інструменту до опорної точки T2 (200 мм/хв)</b>
<b>N09G01X70Y30;</b>	<b>Переміщення інструменту до опорної точки T3 (200 мм/хв)</b>
<b>N10G01X70Y80;</b>	<b>Переміщення інструменту до опорної точки T4 (200 мм/хв)</b>
<b>N11G01Z4;</b>	<b>Виведення інструменту у верх на Z4 (200 мм/хв)</b>
<b>N12G00X0Y0Z0;</b>	<b>Прискорене переміщення в нульову точку O</b>
N12M5;	Виключення обертів шпинделя
N13M30;	Завершення програми
%	Символ завершення програми

### ***Приклади виконання індивідуального завдання***

Для фрезерування канавки вибираємо абсолютну систему координат верстату, а деталь розміщуємо в межах робочого поля фрези відносно цієї системи. Для визначення координат позначаємо на деталі контактні точки фрези. Деталь необхідно розмістити на робочому столі, так щоб координати бажано мали цілі числа. У вихідному положенні фреза знаходиться в точці *O* з координатами (0 – по вісі X, 0 – по вісі Y). Потім фреза переміщається в точку *A* (40, 25) (рис. 9а). Точка яка найближча до точки *O* і буде точкою *A*. Всі наступні точки позначаються з відповідністю геометрії канавки і напрямку руху фрези, яку необхідно нам отримати.

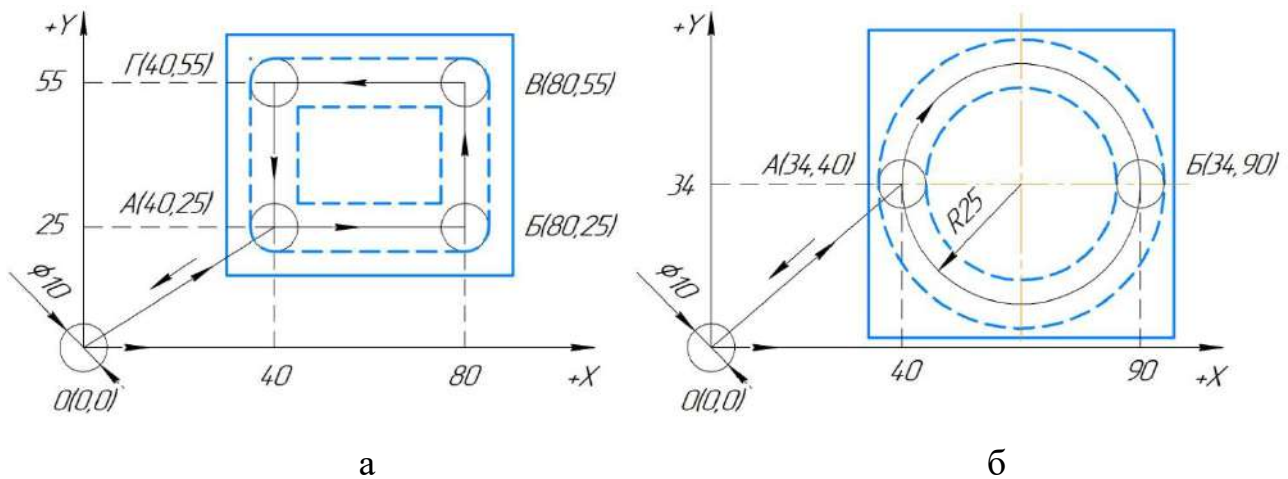


Рисунок 9 – Фрезерування канавки по прямій (а) і по колу (б)

Програма для фрезерування канавки (рис. 9а):

% (символ початку програми)

N00; (група/фамілія/варіант)

N01G17G21G40G49G54G80G90G94; (розшифровується, як в першій програмі)

N02M6T1(Фреза D1); (виклик інструменту №1)

N03G43H1; (компенсація довжини інструменту №1)

N04M3S800; (увімкнення обертів шпинделя (800 об/хв))

**N05G00X40Y25Z0;** (переміщення фрези із точки O(0.0) в точку A(40.25))

**N06G01X40Y25Z-5 F100;** (заглиблення фрези по вісі Z = -5 мм в точці A(40.25) при подачі 100 мм/хв)

**N07G01X80Y25Z-5;** (переміщення фрези із точки A(40.25) в точку B(80.25) (100 мм/хв))

**N08G01X80Y55Z-5;** (переміщення фрези із точки B(80.25) в точку B(80.55) (100 мм/хв))

**N09G01X40Y55Z-5;** (переміщення фрези із точки B(80.55) в точку Г(40.55) (100 мм/хв))

**N10G01X40Y25Z-5;** (переміщення фрези із точки Г(40.55) в точку А(40.25)  
(100 мм/хв))

**N11G01X40Y25Z0;** (переміщення фрези по вісі  $Z = 0$  мм в точці А(40.25),  
тобто відведення фрези у верх на Z3 (100 мм/хв));

**N12G00X0Y0Z0;** (переміщення фрези із точки А(40.25) в точку О(0.0))

**N10M30;** (закінчення програми і переміщення на початок програми)

**%** (символ завершення програми)

Програма для фрезерування канавки по колу (рис. 9б) без допоміжних кадрів має наступний вигляд:

...;

**N05G00X40Y34Z0;** (переміщення фрези із точки О(0.0) в точку А(34.40))

**N06G01X40Y34Z-5 F100;** (заглиблення фрези по вісі  $Z = -5$  мм в точці  
А(34.40) при подачі 100 мм/хв))

**N07G02X90Y34R25Z-5;** (переміщення фрези із точки А(34.40) в точку  
Б(34.90) за годинниковою стрілкою,  $R = 25$  – радіус дуги (100 мм/хв))

**N08G02X40Y34R25Z-5;** (переміщення фрези із точки Б(34.90) в точку  
А(34.40) за годинниковою стрілкою,  $R = 25$  – радіус дуги (100 мм/хв))

**N09G01X40Y34Z3;** (переміщення фрези по вісі  $Z = 0$  мм в точці А(34.40),  
тобто відведення фрези у верх на Z3 (100 мм/хв))

**N10G00X0Y0Z0;** (переміщення фрези із точки А(34.40) в точку О(0.0))

...;

Програма для фрезерування канавки (рис. 10а) без допоміжних кадрів:

...;

**N05G00X40Y25Z0;** (переміщення фрези із точки О(0.0) в точку А(40.25))

**N06G01X40Y55Z-5F100;** (заглиблення фрези по вісі  $Z = -5$  мм в точці  
А(40.25) при подачі 100 мм/хв)

**N07G01X40Y55Z-5;** (переміщення фрези із точки А(40.25) в точку Б(40.55)  
(100 мм/хв))

**N08G01X80Y55Z-5;** (переміщення фрези із точки Б(40.55) в точку В(80.55)  
(100 мм/хв))

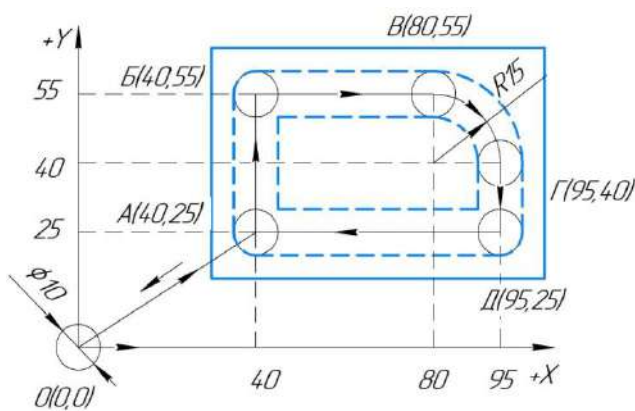
**N09G02X95Y40R15Z-5;** (переміщення фрези із точки В(80.55) в точку  
Г(95.40) за годинниковою стрілкою, R = 25 – радіус дуги (100 мм/хв))

**N10G01X95Y25Z-5;** (переміщення фрези із точки Г(95.40) в точку Д(95.25)  
(100 мм/хв))

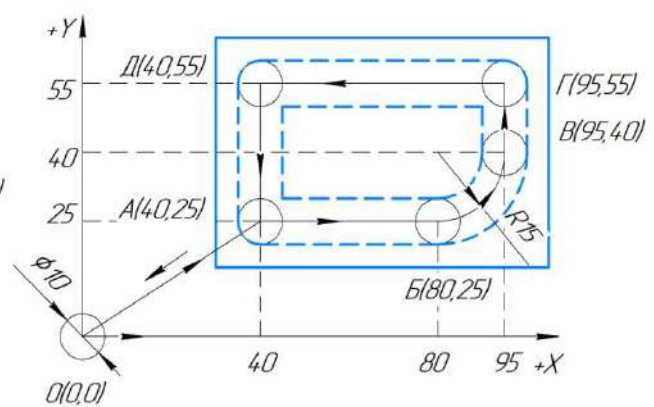
**N11G01X40Y25Z-5;** (переміщення фрези із точки Д(95.25) в точку  
А(40.25) (100 мм/хв))

**N12G01X40Y25Z3;** (переміщення фрези по вісі Z = 0 мм в точці А(40.25),  
тобто відведення фрези у верх на Z3 (100 мм/хв))

**N13G00X0Y0Z0;** (переміщення фрези із точки А(40.25) в точку О(0.0));  
...;



а



б

Рисунок 10 – Фрезерування канавки по прямій і чверті кола за годинниковою  
(а) і проти годинникової стрілки (б)

Програма для фрезерування канавки (рис. 10б) без допоміжних кадрів:  
...;

**N05G00X40Y25Z0F100;** (переміщення фрези із точки  $O(0.0)$  в точку  $A(40.25)$  при подачі 100 мм/хв);

**N06G01X40Y25Z-5;** (заглиблення фрези по вісі  $Z = -5$  мм в точці  $A(40.25)$  (100 мм/хв));

**N07G01X80Y25Z-5;** (переміщення фрези із точки  $A(40.25)$  в точку  $B(80.25)$  (100 мм/хв));

**N08G03X95Y40R15Z-5;** (переміщення фрези із точки  $B(80.25)$  в точку  $B(95.40)$  проти годинникової стрілки,  $R = 25$  – радіус дуги (100 мм/хв));

**N09G01X95Y55Z-5;** (переміщення фрези із точки  $B(95.40)$  в точку  $\Gamma(95.55)$  (100 мм/хв));

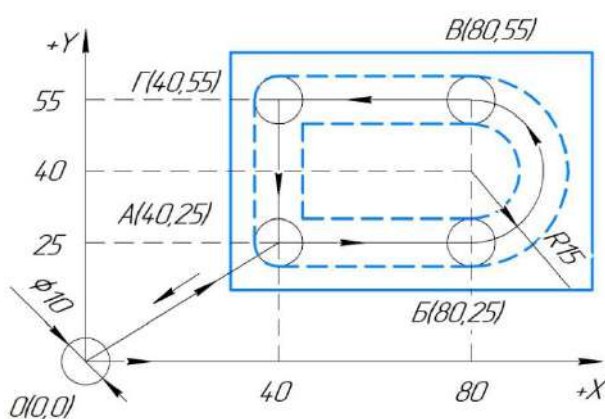
**N10G01X40Y55Z-5;** (переміщення фрези із точки  $\Gamma(95.55)$  в точку  $D(40.55)$  (100 мм/хв));

**N11G01X40Y25Z-5;** (переміщення фрези із точки  $D(40.55)$  в точку  $A(40.25)$  (100 мм/хв));

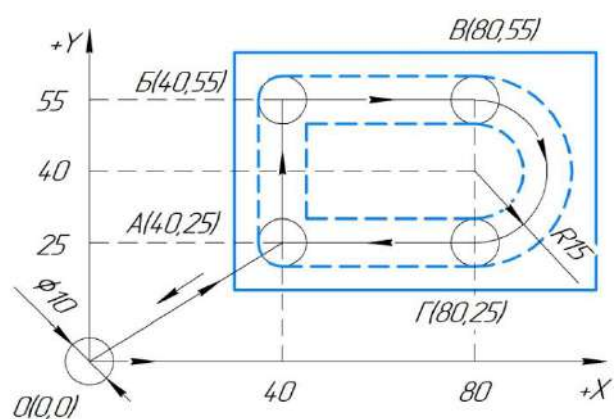
**N12G01X40Y25Z3;** (переміщення фрези по вісі  $Z = 0$  мм в точці  $A(40.25)$ , тобто відведення фрези у верх на  $Z3$  (100 мм/хв));

**N13G00X0Y0Z0;** (переміщення фрези із точки  $A(40.25)$  в точку  $O(0.0)$ );

...;



а



б

Рисунок 11 – Фрезерування канавки по прямій і півкола проти годинникової (а) і за годинниковою стрілкою (б)



Програма для фрезерування канавки (рис. 11а) без допоміжних кадрів:

...;

**N05G00X40Y25Z0;** (переміщення фрези із точки O(0.0) в точку A(40.25));

**N06G01X40Y25Z-5F100;** (заглиблення фрези по вісі  $Z = -5$  мм в точці A(40.25) при подачі 100 мм/хв);

**N07G01X80Y25Z-5;** (переміщення фрези із точки A(40.25) в точку B(80.25) (100 мм/хв));

**N08G03Y55R15Z-5;** (переміщення фрези із точки B(80.25) в точку B(80.55) проти годинникової стрілки,  $R = 25$  – радіус дуги (100 мм/хв));

**N09G01X40Y55Z-5;** (переміщення фрези із точки B(80.55) в точку Г(40.55) (100 мм/хв));

**N10G01X40Y25Z-5;** (переміщення фрези із точки Г(40.55) в точку A(40.25) (100 мм/хв));

**N11G01X40Y25Z3;** (переміщення фрези по вісі  $Z = 0$  мм в точці A(40.25), тобто відведення фрези у верх на Z3 (100 мм/хв));

**N12G00X0Y0Z0;** (переміщення фрези із точки A(40.25) в точку O(0.0);

...;

Програма для фрезерування канавки (рис. 11б) складається подібно до рис. 11а. В цьому прикладі фреза переміщується за годинниковою стрілкою функцією G2.

### ***Порядок виконання роботи***

1. Перед виконанням роботи переглянути відеоматеріали за наступними посиланнями:

1.1. Основні функції та інтерфейс в Mach3

[[https://www.youtube.com/watch?v=pwBI1ohqcmk&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=pwBI1ohqcmk&ab_channel)]

1.2. Опис G і M кодів для програмування на фрезерних та токарних верстатах з ЧПК

[<https://shopstanki.ru/blog/podrobnoe-opisanie-g-i-m-kodov-dlya-programmirovaniya-chpu-cnc-stankov/>]

1.3. Позначення G кодів

[[https://www.youtube.com/watch?v=zRQ88eMWLKo&ab\\_channel=](https://www.youtube.com/watch?v=zRQ88eMWLKo&ab_channel=)

1.4. Кругова інтерполяція.

[[https://www.youtube.com/watch?v=1K-x3t4rQx8&ab\\_channel=cncSimulator](https://www.youtube.com/watch?v=1K-x3t4rQx8&ab_channel=cncSimulator)]

[[https://www.youtube.com/watch?v=R7fJsZFHLKo&ab\\_channel=](https://www.youtube.com/watch?v=R7fJsZFHLKo&ab_channel=)

[[https://www.youtube.com/watch?v=P5Zo0w-E\\_pA&ab\\_channel=](https://www.youtube.com/watch?v=P5Zo0w-E_pA&ab_channel=)

2. Ознайомитись з основними положеннями параметрів програмування прямої лінії, півкола, чверті кола та кола для фрезерування канавки/паза на фрезерних верстатах з ЧПК.

3. Вивчити коди для програмування лінійної та кругової інтерполяції для переміщення інструменту на фрезерних верстатах з ЧПК.

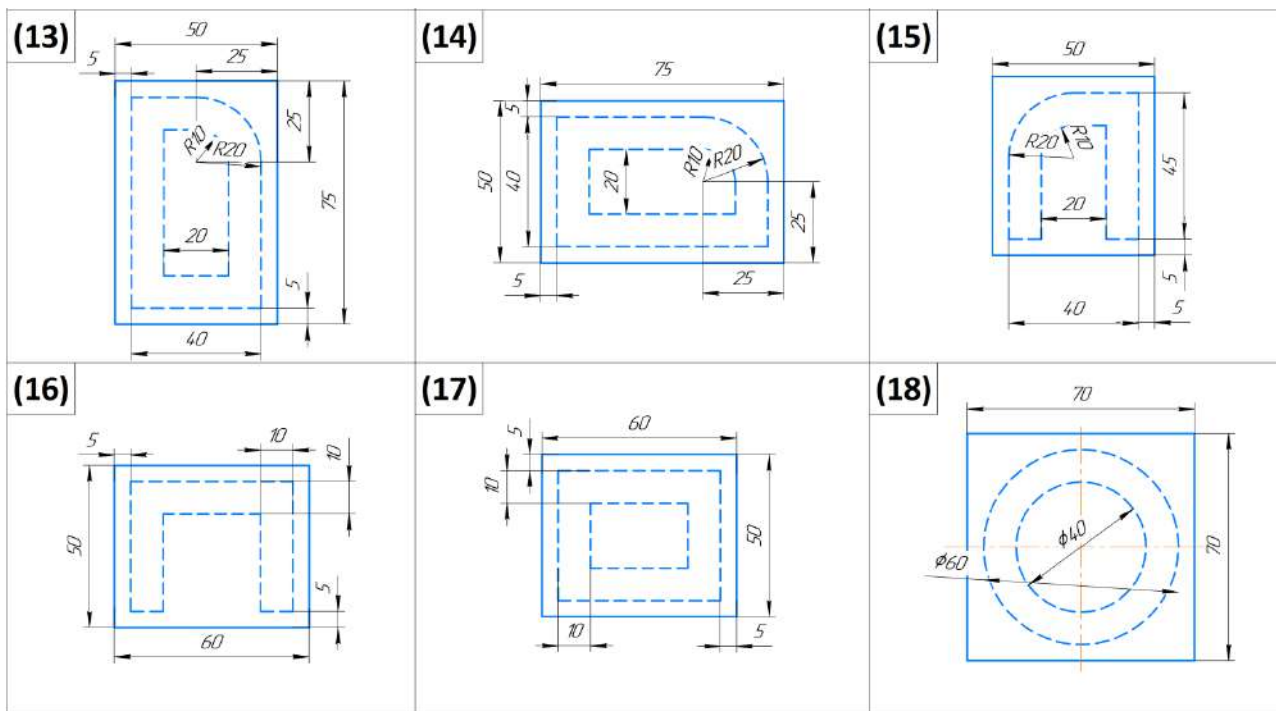
4. Згідно індивідуального завдання (додаток 1), визначити опорні точки, показати траєкторію переміщення інструменту (фрези) на оброблюваній заготовці та розробити керуючу програму для фрезерування канавки/паза глибиною 5 мм (див. підрозділ "Приклади виконання індивідуального завдання").

### Запитання

1. Що таке опорні/вузлові точки?
2. Що таке лінійна інтерполяція, її різновидності?
3. Як скасувати код G00?
4. Які є методи для програмування кругової інтерполяції?
5. За допомогою якої функції програмується кругова інтерполяції проти годинникової стрілки?

## Додаток 1

<p><b>(1)</b></p>	<p><b>(2)</b></p>	<p><b>(3)</b></p>
<p><b>(4)</b></p>	<p><b>(5)</b></p>	<p><b>(6)</b></p>
<p><b>(7)</b></p>	<p><b>(8)</b></p>	<p><b>(9)</b></p>
<p><b>(10)</b></p>	<p><b>(11)</b></p>	<p><b>(12)</b></p>



## Практична робота № 1

### ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГУ ДЛЯ РІЗНИХ УМОВ ШЛІФУВАННЯ

**Мета роботи:** ознайомитися з різними видами шліфувальних кругів з електрокорунду й карборунду та їхнім маркуванням, з основними видами шліфування; навчитися, підбирати потрібний шліфувальний круг залежно від умов шліфування, проаналізувати вплив абразивного інструменту та режиму різання на шорсткість оброблюваної поверхні.

#### *Теоретичні відомості*

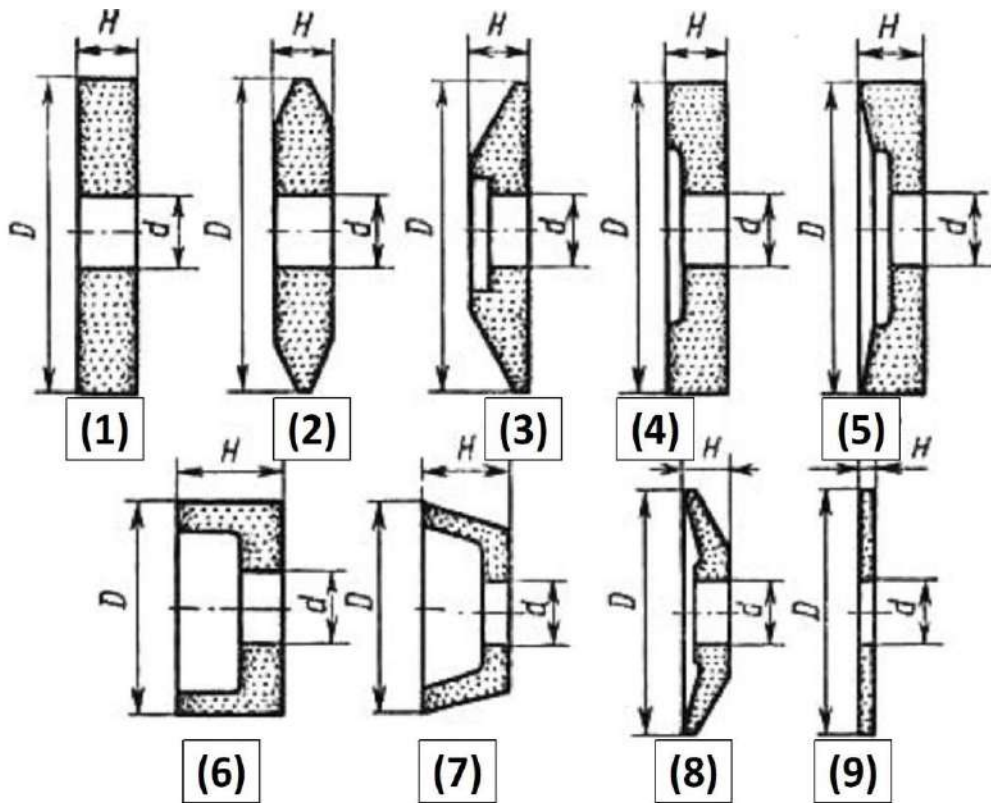
Шліфувальні круги – розповсюджена група абразивних інструментів у вигляді монокристалів, полікристалів або їх уламків, що мають гострі грані, які забезпечують можливість різання. Їх застосовують при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах. Шліфувальний круг складається із зерен, що шліфують, з'єднаних між собою зв'язкою. Зерна й зв'язка не заповнюють увесь об'єм шліфувального круга, частина його залишається вільним у вигляді пор (порожнеч).

У процесі шліфування кожне зерно, що виступає на поверхні круга, своїми гострими ребрами зрізує стружку, що розміщується в порах, а потім викидається з них силою інерції. Шліфувальні круги характеризуються формою й розмірами (рис. 1), маркою абразивного матеріалу, зернистістю, матеріалом зв'язування, твердістю й структурою.

Форми й розміри кругів стандартизовані. Кожна форма круга має умовне позначення. Наприклад: ПП – плоскі прямі круги, Д – диски, ЧЦ – чашки циліндричні, ЧК – чашки конічні, Т – тарілки і т.д. (рис. 1).

Круги плоского прямого профілю (рис. 1(1)) застосовують при круглому зовнішньому та внутрішньому шліфуванні, при плоскому шліфуванні периферією круга, при заточуванні різального інструменту, а також шліфіванні різьби.

Плоскі круги з конічним профілем (рис. 1(2,3)) застосовують для шліфування різьби та шліцевих валів. Плоскі круги з виточенням (рис. 1(4,5)) дозволяють одночасно шліфувати циліндричні і торцеві поверхні.



- 1 – круг плоского прямого профілю; 2,3 – плоскі круги з конічним профілем;  
 4,5 – плоскі круги з виточенням; 6 – круг чашковий циліндричний;  
 7 – круг чашковий конічний; 8 – тарілчастий круг; 9 – відрізний круг

Рисунок 1 – Типи шліфувальних кругів за формою профілю [25]

Круги чашкові циліндричні (рис. 1(6)) застосовують для внутрішнього круглого шліфування периферією, для плоского шліфування торцем і для заточування різального інструменту.

Круги чашкові конічні (рис. 1(7)) використовують для заточення ріжучих інструментів і для плоского шліфування торцем.

Тарілчасті круги (рис. 1(8)) застосовують для заточування багатозубих ріжучих інструментів (фрез, розгортки, черв'ячних фрез).



Відрізні круги (рис. 1(9)) використовують для відрізки заготовок з прутка. Зовнішній вигляд шліфувальних кругів показано на рисунку 2.

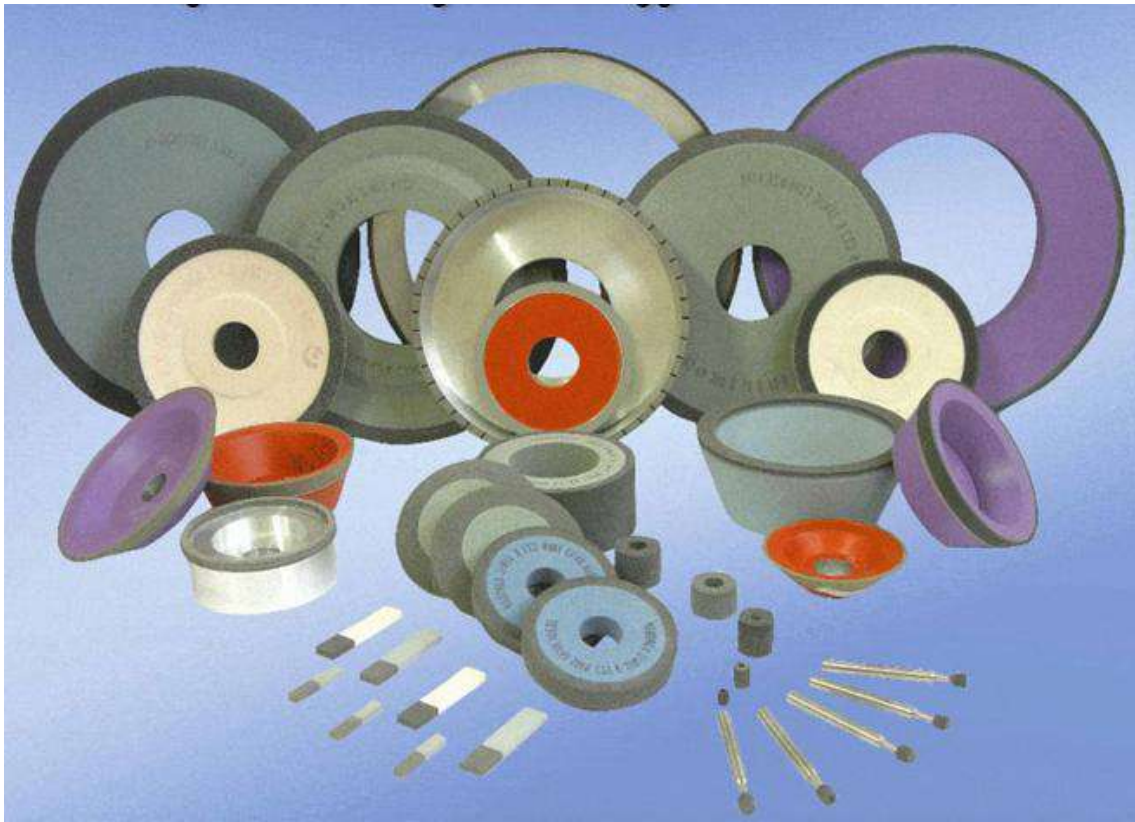


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд шліфувальних кругів [26]

### ***Основі характеристики шліфувальних кругів***

#### ***•тип абразивного матеріалу***

Абразивні матеріали поділяються на штучні (синтетичні) і природні. Для виготовлення абразивних інструментів переважно використовують такі синтетичні матеріали: електрокорунд, карборунд, синтетичні алмази та кубічний нітрид бору.

Електрокорунд, основною складовою частиною якого є кристалічний оксид алюмінію  $Al_2O_3$  (до 99%), має декілька різновидів:

- електрокорунд нормальний – Е (91...96%  $Al_2O_3$ ), марки І6А...І2А;
- електрокорунд білий – ЕБ (97...99 %  $Al_2O_3$ ), марки 25А...22А;
- монокорунд – М (97...98%  $Al_2O_3$ ), марки 45А...43А.

Електрокорундовими кругами шліфують в'язкі матеріали. Зокрема, круги з електрокорунду нормального застосовують для грубого й чорнового шліфування сталевих заготовок; кола з електрокорунду білого – для чистового шліфування заготовок із загартованих конструкційних/інструментальних сталей; кола з монокорунду – для чистового або напівчистового шліфування високолегованих сталей, які підданно азотуванню, хромуванню або інший хіміко-термічній обробці.

Карборунд (карбід кремнію SiC) містить не менше 95% C. Застосовуються два різновиди карборунду:

- карборунд чорний – КЧ (95% SiC), марки від 55С до 52С;
- карборунд зелений – КЗ (97% SiC), марки від 64С до 62С.

Карборундовими кругами шліфують тверді й крихкі матеріали.

Алмазні круги з металевим або полімерним корпусом, на якому укріплено алмазоносний шар завтовшки 0,5...3 мм. Такі круги випускають з 25, 50, 100 та 150% концентрацією алмазного порошку. Стопроцентною концентрацією вважають вміст –  $0,878 \text{ мг/мм}^3$  алмазоносного шару. Алмазні круги застосовують для шліфування твердих сплавів і заточки твердосплавних інструментів.

Кубічний нітрид бору (ельбор), який складається з 44 % бору і 56 % азоту – матеріал, твердість якого наближається до твердості алмазу, застосовують для заточування точних і складних інструментів (зуборізних фрез, протяжок, розгортки) зі швидкорізальної сталі.

Також, слід відзначити, що теплостійкість при якій абразивний матеріал згорає на повітрі, становить для алмазу 600...700 °С, електрокорунду 1250...1800 °С, карбіду кремнію 1300...1400 °С та ельбору 1400...1500 °С.

#### •маркування зернистості

Зернистість – це номер абразивних зерен круга, що характеризує їхній розмір. Абразивні інструменти бувають зі зв'язаними зернами та з вільними зернами. До інструментів зі зв'язаними зернами належать шліфувальні круги,



головки, бруски, сегменти та стрічки, а до інструментів з вільними зернами – пасти, суспензії та порошки.

За зернистістю абразивні матеріали поділяють на три групи: шліфувальні зерна (зернистість від *N*200 до *N*16 – 2000...160 мкм), шліфувальні порошки (від *N*12 до *N*3 – 125...40 мкм) та мікропорошки (від *M*40 до *M*5 – 63...10 мкм). Відповідно до стандартних номерів зернистості лінійні розміри основної фракції зерен подані в таблиці 1.

Таблиця 1 – Зернистість абразивних матеріалів

Номер зернистості (старе/нове позначення)	Міжлінійний розмір зерен основної фракції, мкм	Номер зернистості (старе/нове позначення)	Міжлінійний розмір зерен основної фракції, мкм
Шліфувальні зерна			
200/F10	2500...2000	50/F30	630...500
160/F12	2000...1600	40/F40	500...400
125/F16	1600...1250	32/F54	400...315
100/F20	1250...1000	25/F60	315...250
80/F22	1000...800	20/F70	250...200
63/F30	800...630	16/F90	200...160
Шліфувальні порошки			
12/F100	160...125	5/F220	63...50
10/F120	125...100	4/ F240	50...40
8/F150	100...80	3/ F260	40...28
6/F180	80...63	-	-
Мікропорошки			
M40/F280	40...28	M10/F500	10...7
M28/F320	28...20	M7/F600	7...5
M20/F360	20...14	M5/F800	5...3,5
M14/F400	14...10	-	-

При шліфуванні ріжуча поверхня круга поступово затуплюється. При цьому відбувається налипання стружки на зерна і заповнення пор, а рельєф круга згладжується. Як результат, шліфувальний круг втрачає ріжучу здатність. Відновлення геометрії і ріжучої здатності круга здійснюють за допомогою спеціальної операції – правки круга, яку виконують алмазними (алмазні олівці, алмази в оправках, алмазні ролики прямого і фасонного профілю) або без

алмазними (металеві зірочки, сталеві і твердосплавні диски, шліфувальні круги високої твердості) інструментами.

Параметр шорсткості  $Ra$ , мкм, орієнтовно пов'язаний з середнім розміром абразивних зерен  $d_a$ , мкм залежністю  $Ra = C_a d_a^{0.5}$ , де  $C = 1,5 \dots 1,8$  – стала, яка залежить від властивостей матеріалу заготовки та абразивного круга.

$$Ra = C_a d_a^{0.5},$$

де  $C_a = 1,5 \dots 1,8$  – стала, яка залежить від властивостей матеріалу заготовки та абразивного круга.

#### •тип зв'язки

Зв'язка – це матеріал, що скріплює окремі абразивні зерна круга. Зв'язки (в'язучі речовини) суттєво впливають на ефективність роботи абразивних інструментів. Розрізняють три типи зв'язок:

- неорганічні зв'язки, до яких належать керамічна, магнезіальна та силікатна. Найбільше поширена керамічна зв'язка, яка містить вогнетривку глину, польовий шпат, галька та інші інгредієнти. Ця зв'язка теплостійка, міцна, хімічно- та вологостійка, але крихка;

- органічні зв'язки (бакелітова, гліфталева та вулканітова) забезпечують велику міцність інструменту, надають йому еластичності, але мають невисоку теплову та хімічну стійкість;

- металеві зв'язки, які складаються з металевої основи (порошки міді, олова, алюмінію) і наповнювача, застосовують при виготовленні алмазних інструментів.

Таким чином, найбільш найпоширенішими сучасними зв'язками є:

- керамічна – K/V (вогнетривка глина, польовий шпат, кварц, крейда, рідке скло), марки від K0 до K8. Керамічна зв'язка застосовується для всіх шліфувальних кругів (і всіх видів шліфування), крім відрізних;

- вулканітова – B/R (70% каучуку й 30% сірки), марки B, B1, B2, B3. Вулканітову зв'язку використовують для абразивних кругів, які призначені для

відрізання, прорізки тонких пазів та оздоблювального полірування;

- бакелітова – Б/В (штучна смола), марки Б, Б1, Б2, Б3, Б4. Бакелітову зв'язку застосовують в кругах, які призначені для силового швидкісного шліфування, відрізки та заточувальних операцій (без охолодження).

Згідно міжнародних стандартів, керамічна, вулканітові та бакелітова зв'язка маркується відповідно латинською літерою V, R та B.

#### •структура

Структура – це співвідношення у відсотках в одиниці об'єму зерен, зв'язки і пор. Існує 13 номерів структур:

- а) щільні № 0...3;
- б) середньощільні № 4...6 (рис. 3);
- в) відкриті № 7...12.

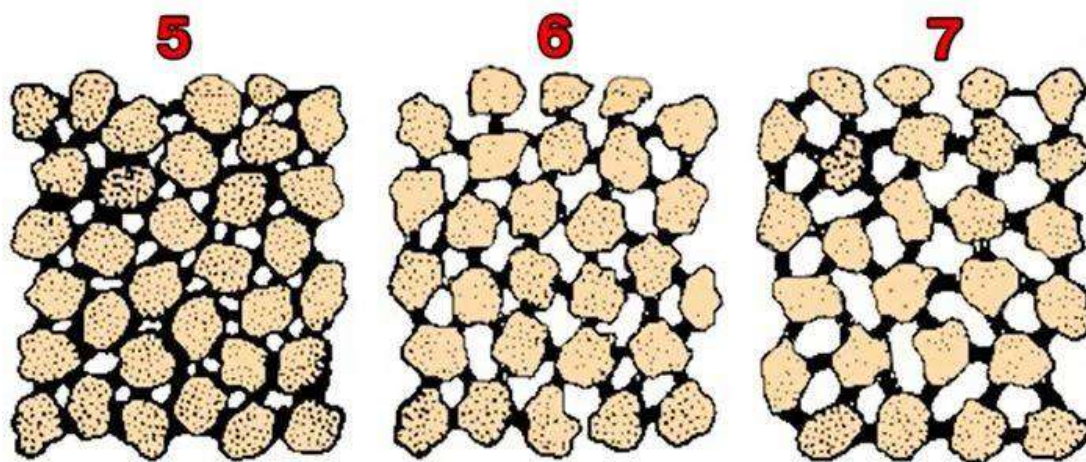


Рисунок 3 – Типова структура абразивного круга номеру 5–7 [27]

#### •твердість

Твердість шліфувального круга це опір зв'язки вириванню абразивних зерен зовнішніми силами. Чим міцніше тримаються зерна, тим твердіший інструмент.

Ступені твердості абразивного круга згідно ДСТУ та міжнародних:

1. Досить м'які (BM1/F, BM2/G);
2. М'які (M1/H, M2/I, M3/J);
3. Середньом'які (CM1/K, CM2/L);
4. Середні (C1/M, C2/N);
5. Середньотверді (CT1/O, CT2/F, CT3/Q);
6. Тверді (T1/R, T2/S);
7. Досить тверді (BT/T);
8. Надзвичайно тверді (CT/V).

У позначення ступеня твердості цифри 1, 2 та 3 характеризують збільшення твердості круга.

При виборі шліфувального круга необхідно враховувати, що чим твердіший матеріал, що шліфується, тим швидше притуплюються абразивні зерна а, отже, тим м'якше повинен бути круг.

Круги м'які та середньом'які застосовуються для шліфування загартованих заготовок з вуглецевих, легованих та інструментальних сталей, а також з кольорових металів та їх сплавів.

Круги середньом'які та середні використовують для чистового і фасонного шліфування тих же матеріалів. Круги середні і середньо тверді застосовують для шліфування незагартованих сталей, а тверді круги – для чорнових оздоблювальних операцій. Надзвичайно тверді круги використовують для виправлення шліфувальних кругів.

### ***Приклад маркування абразивного шліфувального круга згідно ДСТУ 2424-75***

Для прикладу розглянемо шліфувальний круг марки:

ПП 500x50x305 24А 10-П С2 7К5 35 м/с 1 клА.

Це плоский прямий круг (ПП) із зовнішнім діаметром 500 мм, шириною

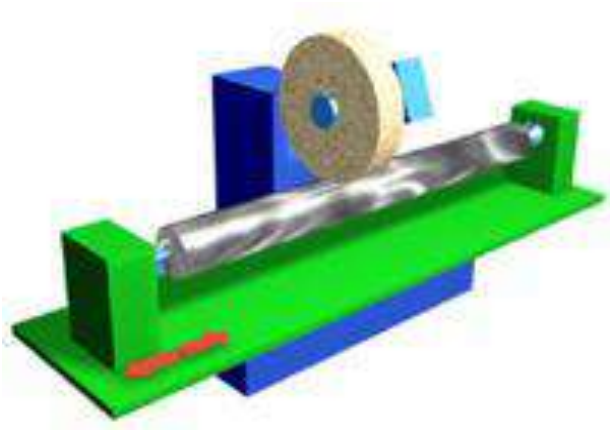
50 мм і діаметром отвору в кругу 305 мм. Виготовлений з електрокорунду білого марки 24А, зернистістю 10-П (П – вміст основної фракції зерен), ступінь твердості – С2, номер структури – 7, керамічна зв'язка марки К5, робоча швидкість 35 м/с. 1 класу неврівноваженості (дисбалансу), клас точності А.

### ***Основі види шліфування плоских та циліндричних поверхонь***

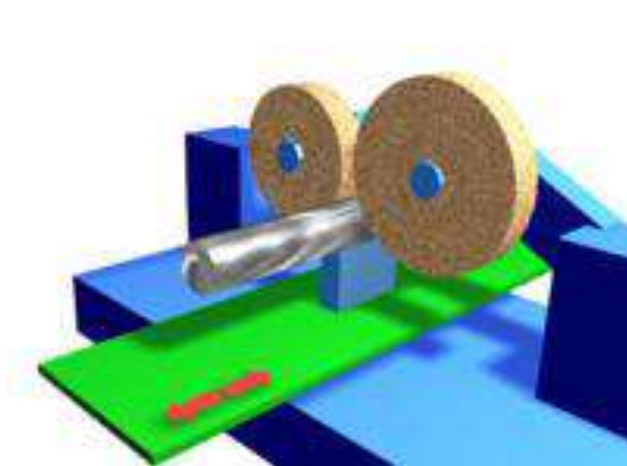
• *чорнове шліфування* – зняття великих припусків грубозернистими кругами прямого профілю типу ПП (рис. 4а) та чашковими кругами типу ЧК;



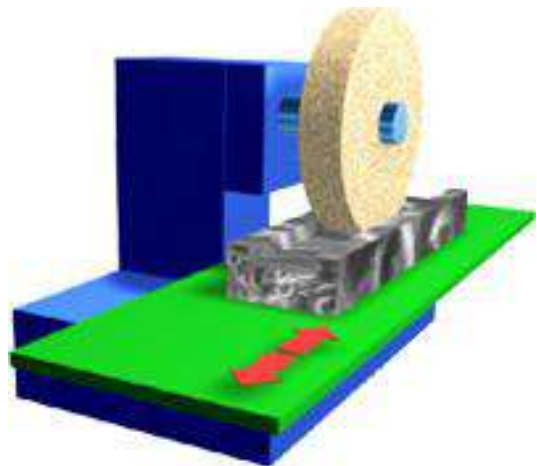
а



б



в



г

а – чорнове; б – кругле; в – безцентрове; г – плоске шліфування

Рисунок 4 – Основі види шліфування зовнішніх поверхонь [28]

• *кругле шліфування* – процес шліфування деталей циліндричної форми під час її обертання в центрах або в патроні, кругами плоского прямого профілю (рис. 4б) або з виточенням та плоскими кругами з конічним;

• *безцентрове шліфування* – відрізняється від круглого/центрального тим, що оброблювані деталі отримують обертання і шліфуються без кріплення в центрах, причому базою є оброблювана поверхня (рис. 4в). При круглому безцентровому шліфуванні обидва круги обертаються в одну сторону з різними швидкостями, робочий круг зі швидкістю 30...35 м/с, ведучий – зі швидкістю в 60...100 разів меншою;

• *плоске шліфування* – це шліфування площин здійснюється периферією або торцем круга (рис. 4г), використовуючи плоскі прямі круги, круг чашковий циліндричний/конічний, тарілчастий круг. При шліфуванні швидкість різання обмежується міцністю шліфувального круга. Залежно від виду зв'язки шліфувального круга його профілю і швидкостей подачі максимально допустима швидкість різання знаходиться в межах від 20 до 50 м/с. Для вибору швидкості поздовжньої подачі та глибини різання при плоскому шліфуванні доцільно використовувати таблиці 2.

Таблиця 2 – Елементи режиму різання при плоскому шліфуванні

Матеріал оброблюваної заготовки	Характер обробки	Швидкість поздовжньої подачі, мм/хв	Поперечна подача, у частках ширини круга на хід стола	Глибина різання, мм
Інструментальні, жароміцні та нержавіючі сталі	Чорнове	3...8	0,04...0,10	0,05...0,15
	Чистове	3...8	0,02...0,06	0,010...0,015
Конструкційні сталі	Чорнове	8...30	0,4...0,7	0,02...0,06
	Чистове	15...20	0,2...0,3	0,015...0,02
Чавуни та бронза	Чорнове	20...85	0,5...0,8	0,015...0,10
	Чистове	15...30	0,2...0,3	0,005...0,020

### ***Порядок виконання роботи***

1. Перед виконанням роботи переглянути відеоматеріали за наступними посиланнями:

1.1. Абразивні круги

[[https://www.youtube.com/watch?v=utxLBlyOfJs&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=utxLBlyOfJs&ab_channel)]

1.2. Точильні верстати і круги [[https://www.youtube.com/watch?v=n-NEcGEApTg&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=n-NEcGEApTg&ab_channel)]

1.3. Автоматичне шліфування металу

[[https://www.youtube.com/watch?v=\\_WuZQVNxNn4&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=_WuZQVNxNn4&ab_channel)]

1.4. Плоске шліфування

[[https://www.youtube.com/watch?v=5akDwqUV29Q&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=5akDwqUV29Q&ab_channel)]

1.5. Кругле зовнішнє шліфування

[[https://www.youtube.com/watch?v=3K8ioK7kHAA&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=3K8ioK7kHAA&ab_channel)]

1.6. Шліфування різьби метчика

[[https://www.youtube.com/watch?v=ocRXp4XzJno&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=ocRXp4XzJno&ab_channel)]

1.7. Безцентрове шліфування

[[https://www.youtube.com/watch?v=hbnceN9HIec&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=hbnceN9HIec&ab_channel)]

2. Ознайомитись із принципом роботи різних типів шліфувальних верстатів, видами шліфувальних кругів за формою та розмірами.

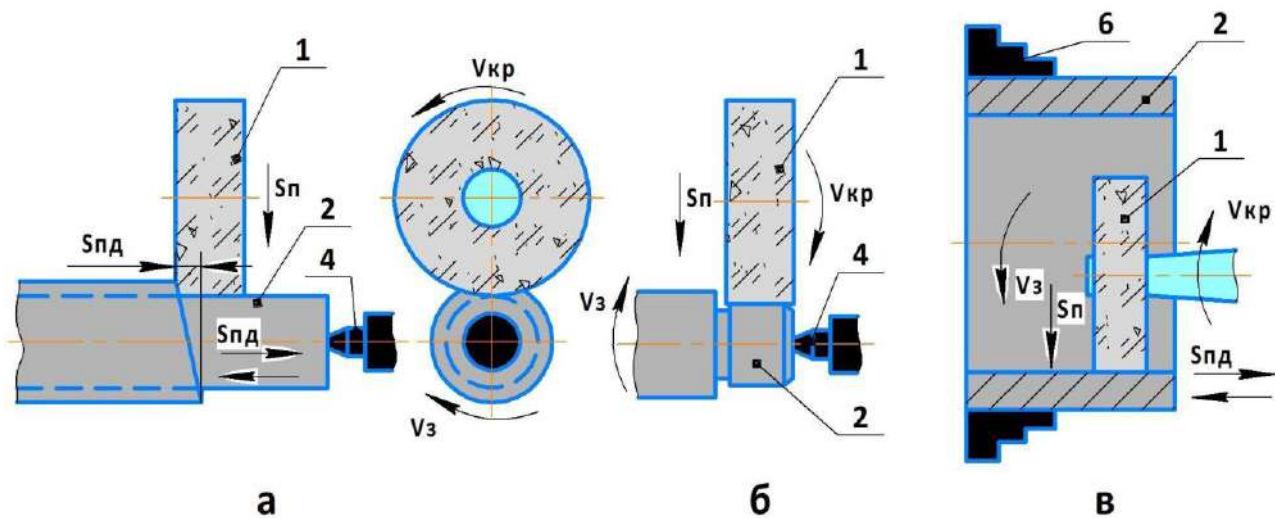
3. Вивчити основні характеристики шліфувальних кругів (матеріал, зернистість, зв'язка, структура, твердість) та схеми видів шліфування.

4. Згідно індивідуального завдання (додаток 1, табл. 5), підібрати потрібну марку шліфувального круга по довідковим таблицях (табл. 3 та 4) та накреслити схему шліфування залежно від заданих умов обробки (табл. 5), використовуючи приклад (див. підрозділ "Приклад маркування абразивного шліфувального круга згідно ДСТУ 2424-75"). Характеристики абразивного інструменту вибирають залежно від виду операції (рис. 5), фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, заданих точності та шорсткості обробленої поверхні (табл. 5), потужності верстата тощо.

## Запитання

1. Що таке процес шліфування?
2. Які форми шліфувальних кругів Вам відомі?
3. Які абразивні матеріали використовують для виготовлення шліфувальних кругів?
4. Як позначається зернистість шліфувального круга?
5. Які основні зв'язки використовуються в шліфувальних кругах?
6. Яку властивість абразивного круга відтворює його твердість?
7. Які параметри визначають режими різання при шліфуванні?
8. Які рухи здійснюються при різних схемах шліфування?

## Додаток 1





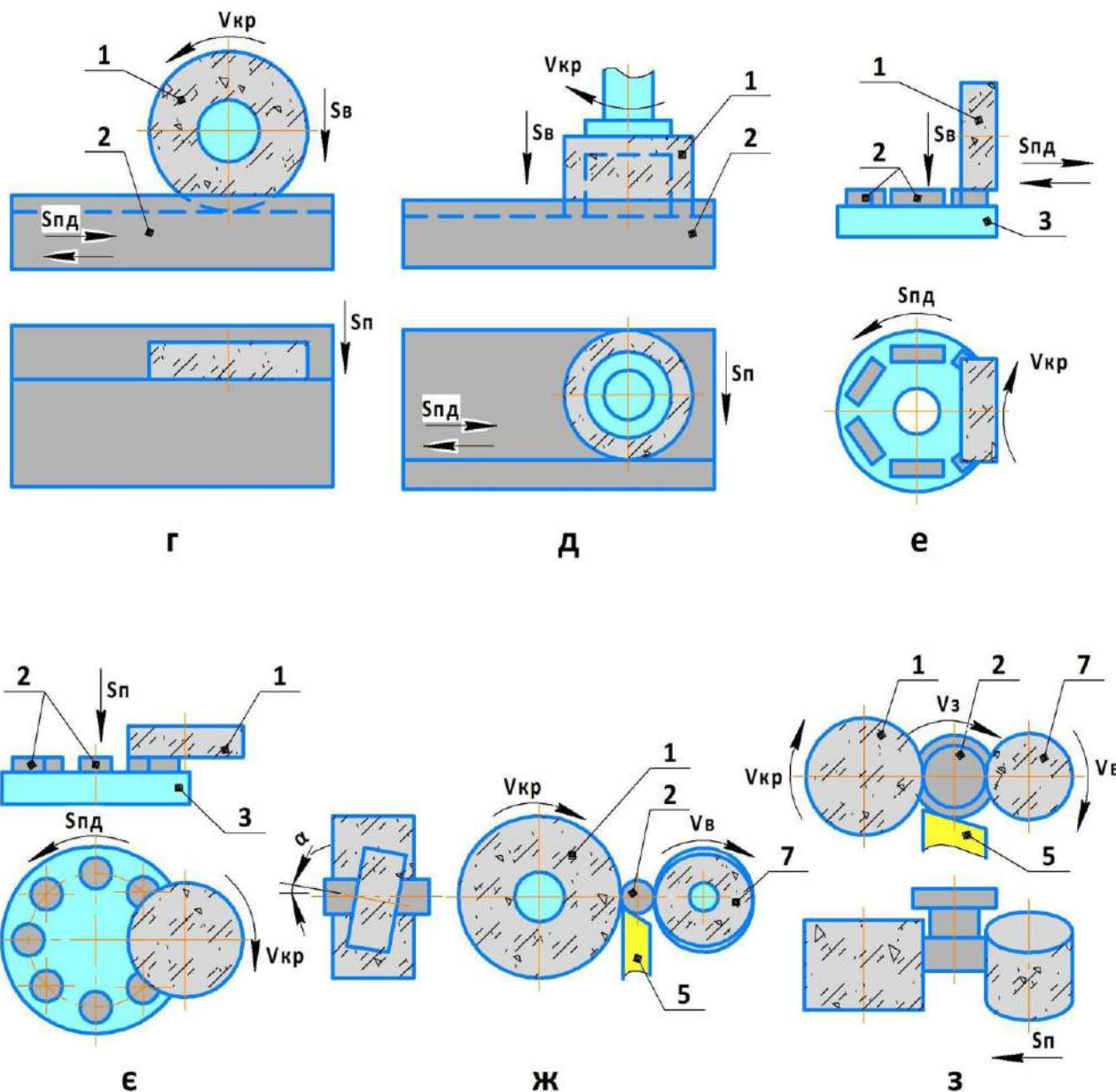


Рисунок 5 – Кругле зовнішнє шліфування з повздовжньою подачею (а) та радіальною подачею (б), внутрішнє шліфування (в), плоске шліфування периферією (г) та торцем (д) круга на верстатах з прямокутним столом, плоске шліфування периферією (е) та торцем (є) круга на верстатах з круглим столом, безцентрове шліфування з повздовжньою (ж) та радіальною (з) подачею:  
 1 – шліфувальний круг, 2 – оброблювана заготовка, 3 – стіл верстата, 4 – центр задньої бабки, 5 – підтримуюча пластина, 6 – самоцентрувальний патрон, 7 – ведучий круг

Таблиця 3 – Вибір характеристики шліфувального круга (робоча швидкість шліфування до 35 м/с)

Вид шліфування	Клас шорсткості / параметр шорсткості $Ra$ , мкм	Конструкційна сталь (вуглецева і легована)		
		HRC $\leq 30$	HRC=30...50	HRC $\geq 50$
Кругле зовнішнє з поздовжньою подачею	5 / 5...2,5	15A50HC16K1	15A50HCM26K1	15A50HCM15K1
	6 / 2,5...1,25	15A40HC26K1	15A40HC16K1	15A40HCM25K1
	7 / 1,26...0,63	22A25ПСТ16K1	22A25ПC16K1	22A25ПCМ25K1
	8 / 0,63...0,32	24A16ПСТ16K1	24A16ПC26K1	24A16ПC15K1
Теж саме з радіальною подачею	5 / 5...2,5	15A50HC26K1	15A50HC16K1	15A50HCM25K1
	6 / 2,5...1,25	15A40HCM16K1	15A40HCM26K1	15A40HCM25K1
	7 / 1,26...0,63	22A25HCT16K1	22A25ПC16K1	22A25ПC15K1
	8 / 0,63...0,32	24A16HCT26K1	24A16ПC26K1	24A16ПC25K1
Безцентрове з поздовжньою подачею	5 / 5...2,5	15A50HC26K1	15A50HC16K1	15A50HCM25K1
	6 / 2,5...1,25	15A40HCT16K1	15A40HC26K1	15A40HCM25K1
	7 / 1,26...0,63	22A25HCT16K1	22A25HCT16K1	22A25ПC15K1
	8 / 0,63...0,32	24A16HCT26K1	24A16HCT16K1	24A16ПC25K1
Теж саме з радіальною подачею	5 / 5...2,5	15A50HCT16K1	15A50HC25K1	15A50HC15K1
	6 / 2,5...1,25	15A40HCT16K1	15A40HC26K1	15A40HC15K1
	7 / 1,26...0,63	22A25HCT26K1	22A25ПСТ16K1	22A25ПC25K1
	8 / 0,63...0,32	24A16HCT26K1	24A16ПСТ16K1	24A16ПC25K1
Внутрішнє	5 / 5...2,5	15A50HC14K0	15A50HCM24K0	15A50HCM23K0
	6 / 2,5...1,25	15A40HC24K0	15A40HC14K0	15A40HCM23K0
	7 / 1,26...0,63	22A25ПC24K0	22A25ПC24K0	22A25ПC13K0
	8 / 0,63...0,32	24A16ПСТ14K0	24A16ПC24K0	24A16ПC23K0
Плоске периферією круга з прямокутним столом	5 / 5...2,5	15A50HCM26K1	15A50HCM16K1	15A50HM35K1
	6 / 2,5...1,25	15A40HCM26K1	15A40HCM16K1	15A40HM35K1
	7 / 1,26...0,63	22A25ПC16K1	22A25ПCМ26K1	22A25ПCМ15K1
	8 / 0,63...0,32	24A16ПC16K1	24A16ПCМ26K1	24A16ПCМ15K1
Теж саме з торцем круга	5 / 5...2,5	15A50HCM18K1	15A50HCM18K1	15A50HCM28K1
	6 / 2,5...1,25	15A40HCM18K1	15A40HCM18K1	15A40HM28K1
	7 / 1,26...0,63	15A25ПCМ28K1	15A25ПCМ18K1	15A25ПМ38K1
	8 / 0,63...0,32	15A25ПCМ28K1	15A25ПCМ18K1	15A25ПМ38K1
Плоске периферією круга з круглим ст..	5 / 5...2,5	15A50HCM26K1	15A50HCM16K1	15A50HM36K1
	6 / 2,5...1,25	15A40HCM26K1	15A40HCM16K1	15A40HM36K1
	7 / 1,26...0,63	15A25ПC16K1	15A25ПCМ26K1	15A25HСМ16K1
	8 / 0,63...0,32	15A16ПC16K1	15A16ПCМ26K1	15A16HСМ16K1
Теж саме з торцем круга	5 / 5...2,5	15A50HCM18Б1	15A50HCM18Б1	15A50HM28Б1
	6 / 2,5...1,25	15A40HCM18Б1	15A40HCM18Б1	15A40HM28Б1
	7 / 1,26...0,63	15A25ПCМ28Б1	15A25ПCМ18Б1	15A25HM38Б1
	8 / 0,63...0,32	15A25ПCМ28Б1	15A25ПCМ18Б1	15A25HM38Б1

Таблиця 4 – Вибір характеристики шліфувального круга (робоча швидкість шліфування до 35 м/с)

Вид шліфування	Клас шорсткості / параметр шорсткості $Ra$ , мкм	Жароміцна та нержавіюча сталь	Чавуни і бронза
Кругле зовнішнє з поздовжньою подачею	5 / 5...2,5	15A 50-Н CM2 6Б1	55C 50-Н CM1 6K1
	6 / 2,5...1,25	15A 40-Н CM2 6Б1	55C 40-Н CM1 6K1
	7 / 1,26...0,63	22A 40-П CM2 6Б1	55C 40-Н CM2 6K1
	8 / 0,63...0,32	24A 25-П CM2 6Б1	55C 25-П CM2 6K1
Теж саме з радіальною подачею	5 / 5...2,5	15A 50-Н CM2 6Б1	55C 50-Н CM2 6K1
	6 / 2,5...1,25	15A 40-Н CM2 6Б1	55C 40-Н CM2 6K1
	7 / 1,26...0,63	22A 40-П C1 6Б1	55C 40-П C1 6K1
	8 / 0,63...0,32	24A 25-П C1 6Б1	55C 25-П C12 6Б1
Безцентрове з поздовжньою подачею	5 / 5...2,5	15A 50-Н CM2 6Б1	55C 502Н CM2 6K1
	6 / 2,5...1,25	15A 40-Н CM2 6Б1	55C 40-Н CM2 6K1
	7 / 1,26...0,63	22A 40-П C1 6Б1	55C 40-П C1 6K1
	8 / 0,63...0,32	24A 25-П C1 6Б1	55C 25-П C2 6K1
Теж саме з радіальною подачею	5 / 5...2,5	15A 50-Н C1 6Б1	55C 50-Н C1 6K1
	6 / 2,5...1,25	15A 40-Н C1 6Б1	55C 40-Н C1 6K1
	7 / 1,26...0,63	22A 40-П C2 6Б1	55C 40-П C2 6K1
	8 / 0,63...0,32	24A 25-П C2 6Б1	55C 25-П C2 6K1
Внутрішнє	5 / 5...2,5	24A 50-Н CM1 6Б1	55C40-Н CM1 6K1
	6 / 2,5...1,25	24A 40-Н CM2 6Б1	55C 40-Н CM2 6K1
	7 / 1,26...0,63	24A 25-П C1 6Б1	55C 25-П CM2 6K1
	8 / 0,63...0,32	24A 16-П C1 6Б1	55C 16-П C1 6K1
Плоске периферією круга з прямокутним столом	5 / 5...2,5	15A 50-Н M3 6Б1	55C 50-Н CM2 6K1
	6 / 2,5...1,25	15A 40-Н M3 6Б1	55C 40-Н CM2 6K1
	7 / 1,26...0,63	15A 25-П CM1 6Б1	55C 25-П C1 6K1
	8 / 0,63...0,32	15A 16-П CM1 6Б1	55C 16-П C1 6K1
Теж саме з торцем круга	5 / 5...2,5	15A 50-Н M2 8Б1	55C 40-Н CM2 8Б1
	6 / 2,5...1,25	15A 40-Н M2 8Б1	55C 40-Н CM2 8Б1
	7 / 1,26...0,63	15A 25-П M3 8Б1	55C 25-П C1 8Б1
	8 / 0,63...0,32	15A 25-П CM1 8Б1	55C 25-П C1 8Б1
Плоске периферією круга з круглим столом	5 / 5...2,5	15A 50-Н M3 6Б1	55C 50-Н CM2 6K1
	6 / 2,5...1,25	15A 40-Н M3 6Б1	55C 40-Н CM2 6K1
	7 / 1,26...0,63	15A 25-П CM1 6Б1	55C 25-П C1 6K1
	8 / 0,63...0,32	15A 16-П CM1 6Б1	55C 16-П C1 6K1
Теж саме з торцем круга	5 / 5...2,5	15A 50-Н M2 8Б1	55C 50-Н CM2 8Б1
	6 / 2,5...1,25	15A 40-Н M2 8Б1	55C 40-Н CM2 8Б1
	7 / 1,26...0,63	15A 25-П M3 8Б1	55C 25-П C1 8Б1
	8 / 0,63...0,32	15A 25-П M3 8Б1	55C 25-П C1 8Б1

Таблиця 5 – Варіанти індивідуальних завдань

Варі- ант	Назва і марка оброблюваного матеріалу	Твердість, HRC	Вид шліфування	Клас шорсткості поверхні	Параметр шорсткості Ra, мкм
1	Вуглецева сталь У8	61...63	Кругле зовнішнє з поздовжньою подачею	7	0.8
2	Бронза БрАЖ9-4	20...30	Внутрішнє	5	2.5
3	Сталь 40	40...45	Кругле зовнішнє з радіальною подачею	6	1.6
4	Жароміцна сталь 18Х2Н4ВА	50...65	Плоске периферією кругу на верстатах з прямокутним столом	8	0.63
5	Сталь 45	33...40	Внутрішнє	7	0.8
6	Бронза БрА5	20...30	Кругле зовнішнє з поздовжньою подачею	6	1.6
7	Сталь 50	40...48	Безцентрове з поздовжньою подачею	7	0.8
8	Нержавіюча сталь ІХІ3		Внутрішнє	6	1.6
9	Вуглецева сталь У10	61...63	Кругле зовнішнє з радіальною подачею	8	0.63
10	Бронза БрА7	20...30	Внутрішнє	8	0.5
11	Сталь 65Г	57...62	Плоске периферією кругу на верстатах з круглим столом	6	1.6
12	Жароміцна сталь ХН77Т10 (ЭИ437А)		Безцентрове з поздовжньою подачею	7	1.25
13	Сталь 40Х	38...45	Кругле зовнішнє з поздовжньою подачею	5	2.5
14	Бронза БрАЖН10	20...30	Внутрішнє	6	1.6
15	Вуглецева сталь У7	60...62	Кругле зовнішнє з радіальною подачею	8	0.5
16	Жароміцна сталь ХН78Т (ЭИ435)		Внутрішнє	5	2.5
17	Вуглецева сталь У12	61...63	Внутрішнє	8	0.5
18	Нержавіюча сталь Х25		Безцентрове з поздовжньою подачею	6	1.6
19	Вуглецева сталь У13	61...63	Кругле зовнішнє з радіальною подачею	6	1.6
20	Нержавіюча сталь Х23Н13		Внутрішнє	5	2.5
21	Сталь 20	30	Кругле зовнішнє з поздовжньою подачею	7	1.25
22	Нержавіюча сталь Х9С2		Безцентрове з поздовжньою подачею	6	1.6

## Практична робота № 2

### ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ МЕТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ

**Мета роботи:** навчитися здійснювати аналіз операційних ескізів та інших вихідних даних для обробки металевої заготовки в даній операції, а також записувати зміст операції по переходах.

#### *Теоретичні відомості*

Сукупність всіх дій людей і методів виготовлення, а також засобів праці на підприємстві для виробництва або ремонту виробів є виробничим процесом [1].

*Виробничий процес* – це складний комплекс первинних процесів: основних, допоміжних і обслуговуючих підрозділів підприємства, що забезпечують своєчасний випуск заданої продукції. Виробничий процес передбачає: технологічну підготовку виробництва; отримання, зберігання та переміщення матеріалів і заготовок; різні види обробки; збирання виробів і контроль якості.

В основу розробки технологічних процесів покладено два принципи: технічний і економічний. У відповідності з технічним принципом технологічний процес, що проектується, повинен повністю забезпечувати виконання всіх вимог конструкторської документації. У відповідності з економічним принципом виготовлення виробу повинно здійснюватися з мінімальними видатками [2–5].

*Технологічний процес* – частина виробничого процесу, яка передбачає направлені дії на зміну і наступне визначення стану засобів праці (заготовки і виробів). Засобами виконання технологічного процесу являється технологічне обладнання і оснастка та наладка. Технологічний процес складається з технологічних і допоміжних операцій.

Під якістю деталі розуміють сукупність усіх її властивостей, котрі повністю забезпечують поставлені до неї експлуатаційні вимоги. Шляхи досягнення потрібної якості вирішуються комплексно з врахуванням усіх стадій

технологічного процесу. Якість деталі визначається двома важливими показниками такими як точністю розмірів та шорсткістю поверхонь.

Для забезпечення найбільш раціонального процесу механічної обробки металевих заготовок складають план обробки, де вказують, які поверхні, в якій послідовності і якими способами потрібно обробляти. Тому, весь процес механічної обробки поділяють на окремі складові частини: операції, встановлення, позиції, переходи, проходи, прийоми.

*Технологічна операція* – це закінчена частина технологічного процесу виконана на одному робочому місці. Технологічна операція зв'язана зі зміною форми, розмірів, властивостей матеріалу або поверхонь заготовки.

*До допоміжних операцій відносять:* контроль, транспортування і інші види робіт при яких розміри, форма та якість заготовок не змінюється.

Операція є основою виробничого планування і обліку (визначають необхідне число робітників, обладнання, інструментів).

*Технологічні операції механічної обробки ділять на:* технологічні і допоміжні переходи робочі і допоміжні ходи.

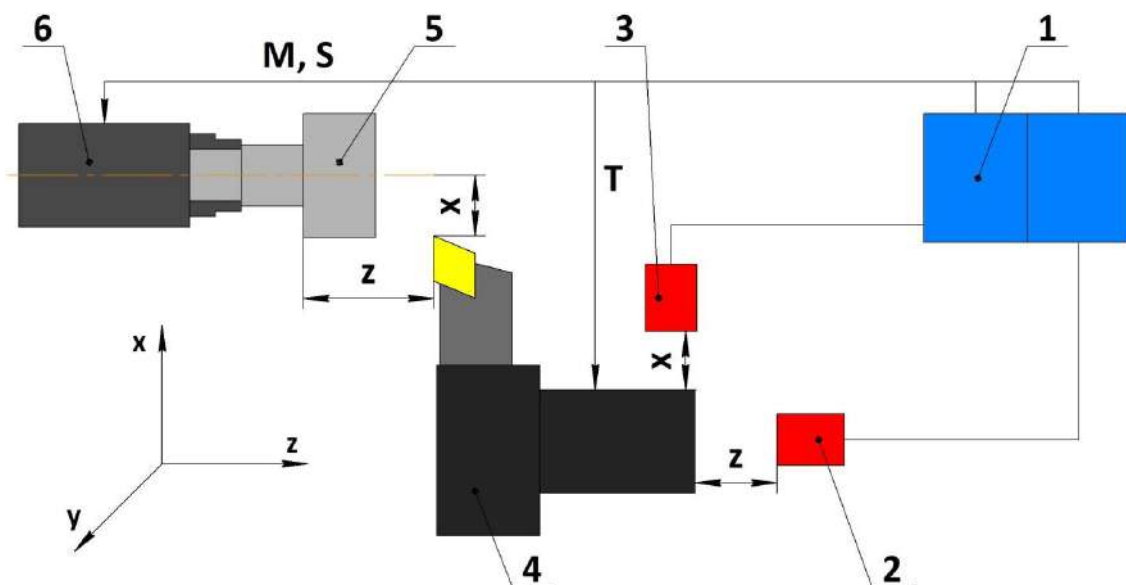
*Технологічний перехід* – закінчена частина технологічної операції, яка характеризується сталістю інструменту і поверхонь, які утворюють обробкою. Обробку кожної поверхні заготовки здійснюють за один або декілька переходів.

*Допоміжний перехід* – закінчена частина технологічної операції, яка складається із дій людини і обладнання, яка не супроводжується зміною форми, розмірів, параметрів шорсткості поверхні, але необхідної для виконання технологічного переходу, наприклад, установка оброблюваної заготовки, її закріплення, зміна ріжучого інструменту.

Переходи можна виконувати послідовно – один за іншим, наприклад, на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК); паралельно оброблювати декілька поверхонь деталі декількома інструментами – на агрегатних багаторізцевих верстатах; і паралельно – послідовно – на багатошпиндельних автоматах.

*Робочим ходом* називають закінчену частину технологічного переходу, який складається із одноразового переміщення інструменту відносно заготовки і супроводжується змінною форми, розмірів, якості поверхні або властивості заготовки. Робочий хід здійснюється при відносному переміщенні інструменту і заготовки по заданій траєкторії. Траєкторія робочого ходу включає: траєкторію підходу інструменту; траєкторію різання; траєкторію перебігу (виходу) інструменту.

Для розширення технологічних можливостей верстатів, частіше використовуються системи з ЧПК, які здійснюють програмування циклу, режимів обробки і шляхів переміщення робочих органів верстата (рис. 1) [6].



1 – блок керування ЧПК; 2, 3 – крокові приводи з поперечною «x» та повздовжньою «z» подачею; 4 – різцетримач; 5 – заготовка; 6 – безступінчаста коробка швидкостей; M,S – допоміжна функція та команда головного руху; T – команда на зміну інструменту

Рисунок 1 – Схема обробки деталі на токарному верстаті з ЧПК

*Допоміжний хід* – представляє собою закінчену частину технологічного переходу, яка складається із одноразового переміщення інструменту відносно

заготовки і не супроводжується її змінами, але необхідного для підготовки робочого ходу.

При використанні верстатів з ЧПК виникає необхідність в подальшій деталізації складових технологічної операції і процесу обробки. Технологічні і допоміжні ходи розбивають на кроки (елементарні переміщення) і технологічні команди. Кожний крок представляє собою переміщення на ділянці траєкторії з невідомими параметрами (наприклад, значення швидкості подачі, частоти обертання шпинделя). Зокрема, окремим кроком є переміщення по прямій або по колу з постійною швидкістю.

*Технологічні команди* – це вказівки, які реалізують виконуючими механізмами, наприклад, включення, подача мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) та ін. Для обробки заготовки необхідно вставити і закріпити в пристрої або за допомогою механізмів верстата [6], [7].

*Установ* називають частину технологічної операції, яка виконується при незмінному (одноразовому) закріпленні оброблюваної заготовки. Операція може використовуватись за один або декілька установ. Наприклад, для токарної обробки втулки необхідно, як правило, два установи (рис. 2).

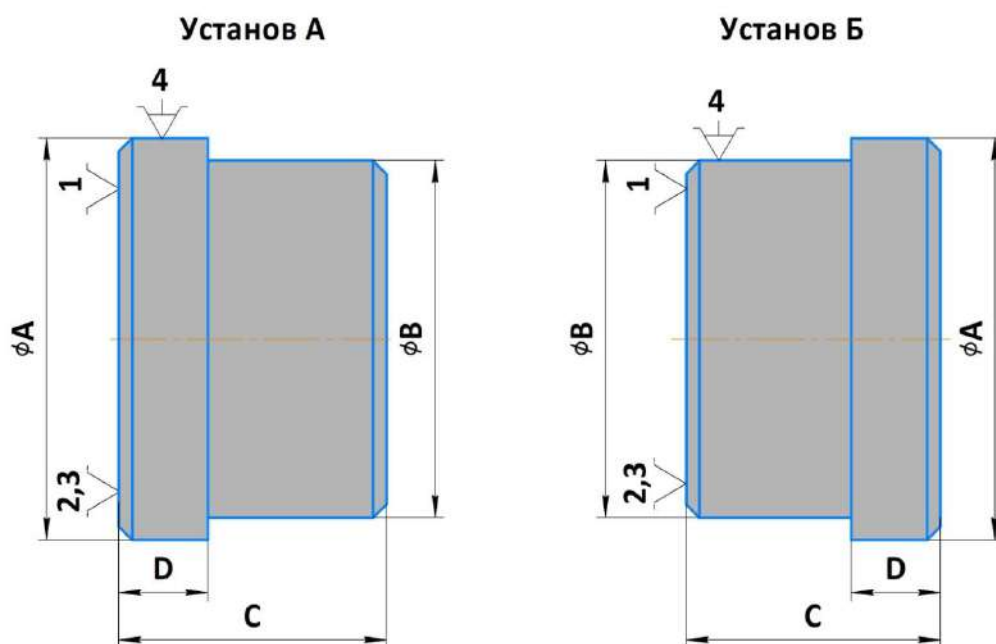


Рисунок 2 – Базування втулки для токарної обробки



Використання прогресивних технологічних рішень є запорукою успішної конкурентної боротьби за ринки збуту. Необхідно передбачити планування виробничих операцій в певних умовах, певним чином і в певній послідовності. Керовані умови – це відповідне керування матеріалами, виробничим обладнанням, програмним забезпеченням електронно-обчислювальної машини (ЕОМ), персоналом, постачанням та оснащенням.

Для того щоб визначити всі складові операції, необхідно провести аналіз операційних ескізів та інших вихідних даних, встановити склад операції та визначити її найменування і склад, визначити послідовність обробки заготовки в даній операції, описати склад операції по переходам.

На рисунку 3 приведено зовнішній вигляд обладнання з ЧПК (система Mach3), яке може бути використано для токарної, фрезерної та свердлильної операцій.



а



б



в

Рисунок 3 – Токарний верстат «ORAC MBC 84» (а), фрезерний верстат «DYNA MYTE 2800» (б) та фрезерно-свердильний верстат «Syil X3» з ЧПК (в)

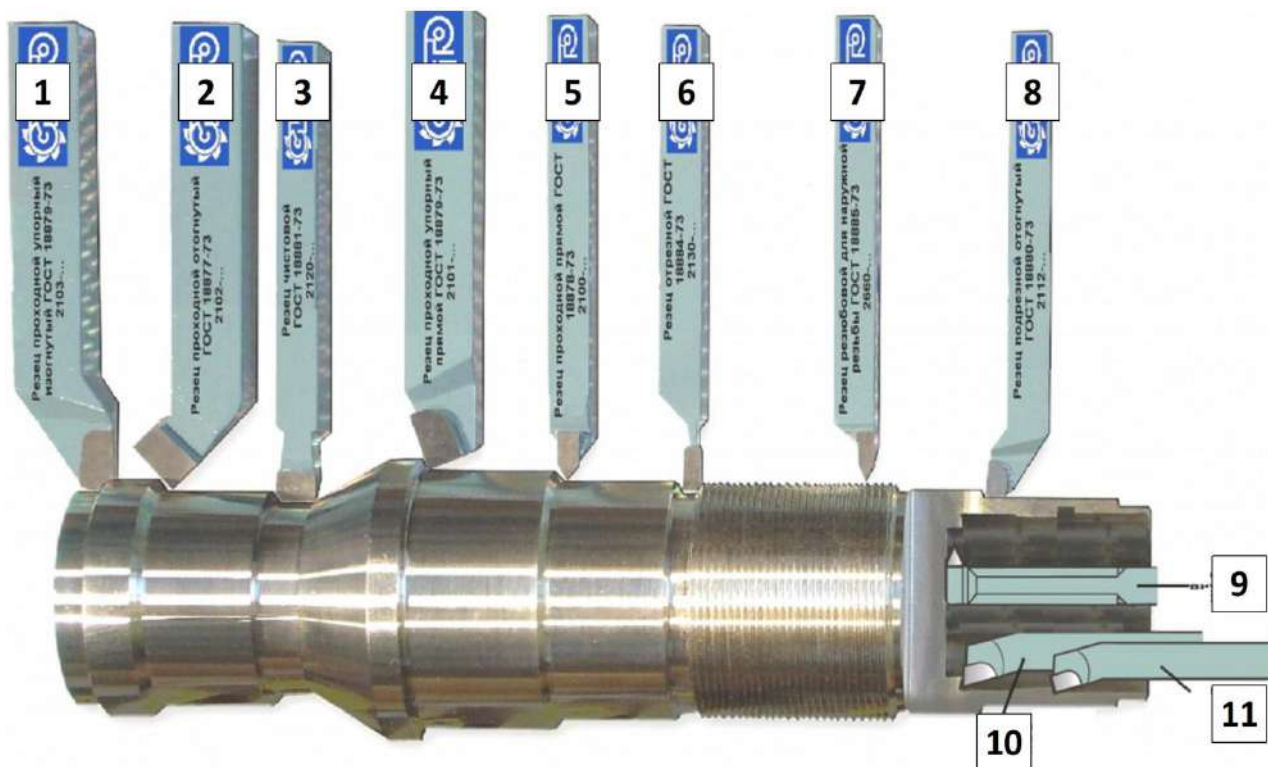
Токарні верстати призначені для зовнішньої та внутрішньої обробки складних заготовок деталей типу тіл обертання, в той час як фрезерні верстати – для обробки плоских поверхонь деталей. Обробка різанням – вид механічної обробки, яке полягає в утворенні нових поверхонь шляхом відділення поверхневих шарів матеріалу з утворенням стружки.

### ***Основні процеси механічної обробки та різучий інструмент***

#### ***•точіння***

Токарною обробкою або точінням називається спосіб отримання деталей циліндричної форми різанням.

По виду обробки токарні різці діляться на прохідні, розточувальні, підрізні, прорізні, відрізні, канавочні, галтельпі/радіусні та фасонні (рис. 4).



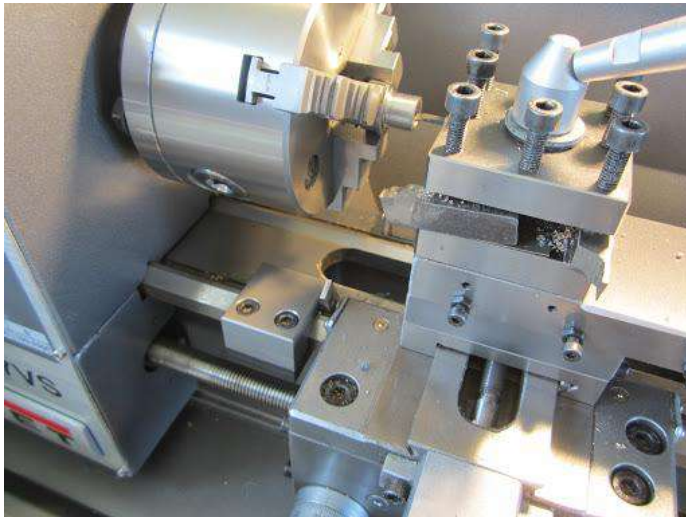
1 – прохідний опорний; 2 – прохідний відігнутий; 3 – фасонний; 4 – прохідний опорний прямий; 5 – прохідний прямий; 6 – відрізний; 7 – різьбовий; 8 – підрізний відігнутий; 9 – різьбовий для внутрішньої різьби; 10 – розточний для наскрізних отворів; 11 – розточний для глухих отворів

Рисунок 4 – Типи токарних різців [29]

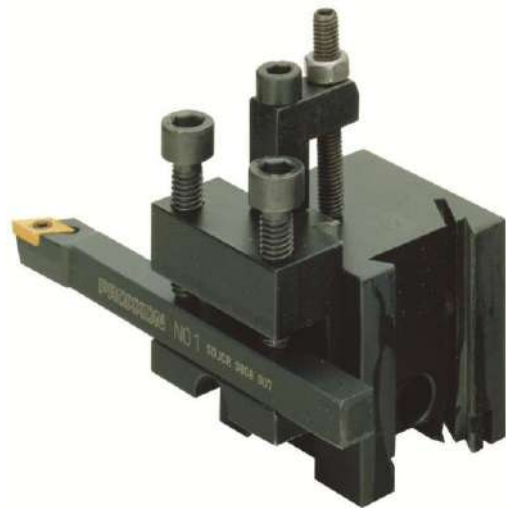
За способом з'єднання ріжучої частини різця з тілом розрізняють цілісні, напаяні або наварні різці, різці з механічним кріпленням пластинок і різці, у яких кріплення пластинок здійснюється силами різання. За конструкцією головки різці можуть бути прямими, відігнутими, зігнутими, з відтягнутою і посиленою головками. Різці закріплюють у різцетримачі супорта, в якому можна закріпити до 4-х різців (рис. 5а). Закріплення різця у швидкозмінному різцетримачі показано на рисунку 5б.

Процес *точіння площин* виконується при обертанні заготовки (головний рух – швидкість різання  $V$ , яка вимірюється у м/хв) та подачі  $S$  інструменту у мм/об у напрямку, перпендикулярному до осі заготовки. Залежно від конструкції верстата заготовка може обертатися навколо горизонтальної чи

вертикальної (наприклад, на токарно-карусельних верстатах) осі шпинделя. Особливістю точіння поверхонь є зміна швидкості різання під час переміщення різця відносно осі шпинделя. При точінні з напрямком подачі  $S$  від периферії до центра вона зменшується, а навпаки – збільшується. Процес точіння площин (підрізання торців) забезпечує точність 9...10-го квалітетів при шорсткості  $Ra = 6,3...1,25$  мкм.



а



б

Рисунок 5 – Типи різцетримачів: поворотний різцетримач (а) та швидкозмінний різцетримач (б)

Подача при *точінні зовнішніх циліндричних поверхонь* здійснюється переміщенням інструменту уздовж осі заготовки, перпендикулярно до неї, під кутом або по складній кривій при обробці фасонних поверхонь, що вимірюється у міліметрах на один її оберт  $S$  (мм/об). Швидкість різання при точінні залежить від етапу обробки, матеріалу заготовки та різальної частини інструменту в середньому становить 50...250 м/хв. Точіння забезпечує досягнення точності від 12...14-го квалітетів з шорсткістю поверхні  $Ra$  25...6,3 мкм при чорновій обробці до 8...9-го квалітетів при чистовому точінні із шорсткістю  $Ra = 0,4$  мкм.



*Розточування отворів* виконують в основному на верстатах токарної, розточувальної та фрезерної груп. Розточування виконується різцями різних конструкцій, які можуть бути закріплені як безпосередньо у різцетримачеві верстата, так і в спеціальних оправках. Швидкість різання забезпечується обертанням заготовки, а подача — переміщенням інструменту. На верстатах розточувальної групи обертається інструмент, а подача здійснюється як рухом шпинделя з інструментом, так і рухом стола із заготовкою. Чистове розточування забезпечує точність обробки отвору за 8...10-м квалітетами при шорсткості поверхні  $Ra = 0,8 \dots 2,5$  мкм.

#### •фрезерування

Фрезерування – процес механічної обробки з обертальним головним рухом різання при постійному радіусі траєкторії багатолезового інструменту (фрези) і хоча б одним рухом подачі, спрямованим перпендикулярно осі головного руху різання.

Залежно від призначення і виду поверхонь для фрезерування застосовують фрези різних конструкцій, типів, з різним матеріалом ріжучої кромки (рис. 6). Залежно від способу кріплення розрізняють: фрези з циліндричним (рис. 6 (5,6)) або конічним (рис. 6 (12)) хвостовиком; насадні фрези і фрезерні головки (рис. 6 (7)). Фрези (рис. 6 (7)) та різці (рис. 5б), як правило, виготовляються з використанням твердосплавних пластин.

Процес *фрезерування площин* виконується за допомогою багатолезових інструментів — фрез, конструкція яких забезпечує обробку площин як у горизонтальному, так і у вертикальному положеннях під кутом до площини стола верстата, а також обробку фасонних елементів. Залежно від конструкції різальної частини фрези, її матеріалу, а також режимів обробки фрезерування забезпечує точність у межах 8...14-го квалітетів при шорсткості поверхні у межах  $Ra = 12,5 \dots 0,8$  мкм.



1 – циліндрична цільна; 2 – кінцева; 3 – дискова одnobічна; 4 – відрізна;  
 5 – кінцева з напаяними пластинами твердого сплаву; 6 – кінцева з механічним кріпленням твердосплавних пластин; 7 – циліндрична збірна; 8 – однокутова;  
 9 – двокучова несиметрична; 10 – фасонна; 11 - фасонна напівкругла опукла;  
 12 – пазова для Т-образних пазів; 13 – дискова модульна;  
 14 – черв'ячна; 15 – різьбова ниткова

Рисунок 6 – Основні типи фрез [30]

*Фрезерування зовнішніх циліндричних поверхонь є продуктивним способом обробки. Його використовують для обробки шийок східчастих та колінчастих валів, гальмівних колодок тощо і виконують дисковими, торцевими або кінцевими фрезами на верстатах фрезерної групи. Заготовка за допомогою додаткових пристроїв обертається навколо своєї осі зі швидкістю 10...20 м/хв (обертальна подача), в той час як швидкість різання  $V$  (м/хв), забезпечує швидкість обертання фрези. Ширина дискової фрези дорівнює ширині*

поверхні, що обробляють. Спосіб забезпечує точність обробки 9...10-го квалітетів при шорсткості поверхні  $Ra = 5 \dots 8$  мкм.

•свердління

Свердління є спосіб лезової обробки для свердління наскрізних отворів в суцільному шарі матеріалу, розсвердлювання (збільшення вже наявних, попередньо просвердлених отворів) або розсвердлювання глухих отворів, використовуючи свердла (рис. 7).



- 1 – спіральне свердло із циліндричним хвостовиком; 2 – спіральне свердло з конічним хвостовиком; 3 – свердло з мечиком для нарізання різьби; 4 – центрове свердло; 5 – свердло з двома діаметрами; 6 – centruвальне свердло; 7 – конічне свердло; 8 – конічне багатоступінчате свердло

Рисунок 7 – Основні типи свердел [31], [32]

Свердла відрізняються не тільки діаметром, але і довжиною – виробляються короткі, подовжені та довгі свердла. Важливою інформацією є і гранична твердість оброблюваного металу. Хвостовик свердла може бути циліндричним і конічним, що слід мати на увазі при підборі сверлильного патрона або перехідної втулки. Для закріплення деталей перед свердлінням використовують лещата, опори, кондуктори, зажим болтами та інші пристосування. Спиральні свердла (рис. 7 (1,2)) використовують для обробки отворів у суцільному матеріалі, а також для збільшення розміру вже просвердленого отвору (розсвердлювання). Вони досягають 80 мм в діаметрі.

Наскрізні отвори пронизують заготовку повністю, утворюючи в ній прохід (рис. 8а), тоді як глухі отвори виконуються на певну глибину і не пронизують заготовку наскрізь (рис. 8б). Суцільне свердління виконується спіральним свердлом, в канали якого подається мастильно-охолоджувальна рідина (МОР) (рис. 8в) [32].

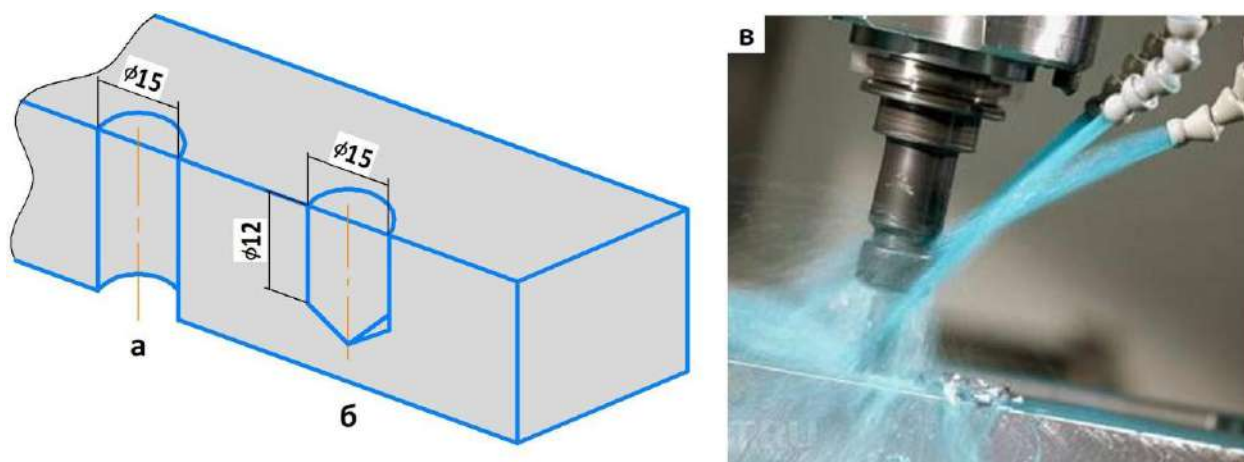


Рисунок 8 – Наскрізні (а) та глухі (б) отвори, зовнішній вигляд свердління отвору з подачею МОР (в)

Свердла (рис. 7 (1,2)) при виготовленні обробляють парою високої температури. Завдяки цій обробці матеріал загартовується і стає міцним. Вони зношуються менше і служать довше, ніж свердла приведені на рис. 7 (3–5).



Комбіновані свердла призначені для створення декількох поверхонь за один робочий хід. Вони можуть поєднувати в одній конструкції й інші інструменти, наприклад, свердло-зенкер, свердло-мітчик тощо. Свердло-мітчик (рис. 7 (3)) призначений як для свердління отвору, так і нарізування різьби. Свердління, нарізування різьби (у наскрізних отворах) і зенківка проводиться за один робочий прохід, а очищення різьби виконується на зворотному ході.

Центрувальні свердла (короткі двосторонні свердла з товстим хвостовиком) (рис. 7 (6)) використовуються для виготовлення центрових отворів (центрування). Нормальним кутом звичайного центрувального свердла є кут  $60^\circ$ , з запобіжним конусом  $60...120^\circ$ .

Конічні або конічні ступінчасті свердла (рис. 7 (7,8)) виготовляються у вигляді конусів зі ступінчастою поверхнею (спіраллю). Особливістю конічних свердел є можливість використання одного інструменту для отримання отворів різних діаметрів, що веде до зменшення не тільки часу на заміну свердел під час роботи, але і гроші на їх асортимент. Поступальні зміни розмірів виконані з наявністю плавних переходів між ступенями. Така форма поверхні сприяє легкому обертанню і підвищенню ефективності обробки листових матеріалів. Використання високоміцних сталей для виготовлення різальних крайок на східчастих свердлах забезпечує їм більш тривалі терміни експлуатації без виконання заточування.

Кільцеві свердла використовують для обробки отворів великого діаметра (як правило, більшого, ніж  $60...70$  мм). При цьому після обробки отвору залишається стрижень, який може бути використаний для виготовлення інших виробів. Швидкість різання при свердлінні залежить від етапу обробки, матеріалу заготовки та різальної частини інструменту та в середньому становить  $V = 5...80$  м/хв. Свердління забезпечує точність обробки отвору 11...13-го квалітетів при шорсткості поверхні  $Ra = 3,2..12,5$  мкм.

### **Приклад виконання індивідуального завдання**

#### *Порядок визначення складових операції:*

- деталь виготовляють із гарячекатаного прокату, розрізаного на штучні заготовки циліндричної форми в умовах дрібносерійного виробництва.
- всі поверхні обробляються за один прохід.
- токарна операція виконується згідно ескізів за два установи (рис. 9).

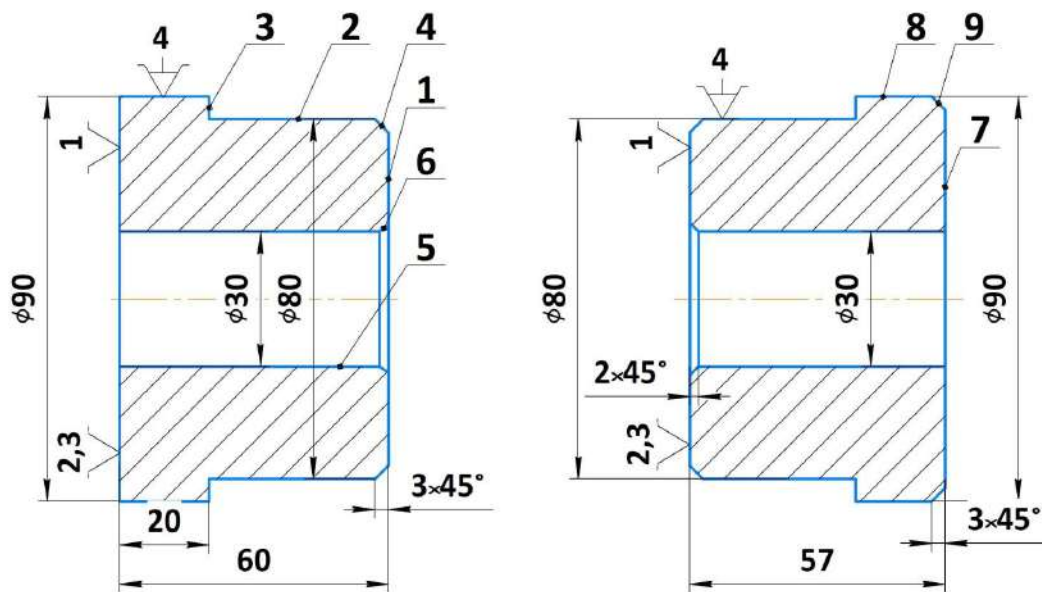


Рисунок 9 – Схема токарної операції

#### *Порядок розв'язання:*

1. В даній операції, яка складається із двох установ А і Б, проводиться обробка 9-ти поверхонь металевої заготовки (рис. 9), для чого необхідно виконати послідовно дев'ять технологічних переходів.

2. Для виконання даної операції буде використаний токарний верстат з ЧПК (рис. 8а). Найменування операції – токарна.

3. Встановлюємо раціональну послідовність виконання технологічних переходів по установам, згідно операційних ескізів. В першому установі (А): підрізати торець 4, точити поверхню 2 з утворенням торця 1, точити фаску 3,

свердлити отвір 6 і розточити фаску 5. В другому установі (Б) – підрізати торець 9, точити поверхню 7 і фаску 8.

4. Зміст операції в технологічній документації записується по технологічним переходам (ТП) та допоміжним переходам (ПД) (табл. 1).

Таблиця 1 – Зміст операції по переходам

№ переходу	Вид переходу	Зміст операції
1	ПД	Встановити і закріпити заготовку
2	ТП	Підрізати торець 1
3	ТП	Точити поверхню 2 з утворенням торця 3 (при точінні поверхні 2 здійснюють 2 робочих хода)
4	ТП	Точити фаску 4
5	ТП	Свердлити отвір 5
6	ТП	Розточити фаску 6
7	ПД	Переустановити заготовку
8	ТП	Підрізати торець 7
9	ТП	Точити поверхню 8
10	ТП	Точити фаску 9
11	ПД	Контроль розмірів деталі
12	ПД	Зняти деталь і покласти в тару

### ***Порядок виконання роботи***

1. Перед виконанням роботи переглянути відеоматеріали за наступними посиланнями:

1.1. Види різців, класифікація і застосування обробка

[[https://www.youtube.com/watch?v=2BXr\\_2TYpBU&ab\\_chan](https://www.youtube.com/watch?v=2BXr_2TYpBU&ab_chan)]

[[https://www.youtube.com/watch?v=FsWB0BzwKjU&feature=emb\\_logo&ab\\_channel/](https://www.youtube.com/watch?v=FsWB0BzwKjU&feature=emb_logo&ab_channel/)]

1.2. Класифікація та види фрез по металу.

[<https://www.youtube.com/watch?v=68ZndvV9Hbg>]

1.3. Класифікація та види свердел по металу.

[<https://www.youtube.com/watch?v=DaeAGTNeSTo>]

#### 1.4. Токарна обробка. Передові токарні верстати з ЧПК

[[https://www.youtube.com/watch?v=EMiFIu-X0m4&ab\\_channel=LAMachines](https://www.youtube.com/watch?v=EMiFIu-X0m4&ab_channel=LAMachines)]

[[https://www.youtube.com/watch?v=APulQ7LGEtg&ab\\_channel=SkyCreativeHD](https://www.youtube.com/watch?v=APulQ7LGEtg&ab_channel=SkyCreativeHD)]

#### 1.5. Фрезерна обробка. Передові фрезерні верстати з ЧПК

[[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=234&v=aacARs2VicQ&feature=emb\\_logo&ab\\_channel=HarleanLouie](https://www.youtube.com/watch?time_continue=234&v=aacARs2VicQ&feature=emb_logo&ab_channel=HarleanLouie)]

[[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=234&v=aacARs2VicQ&feature=emb\\_logo&ab\\_channel=](https://www.youtube.com/watch?time_continue=234&v=aacARs2VicQ&feature=emb_logo&ab_channel=)

#### 1.6. Фрезерний верстат «DYNA MYTE 2800»

[[https://www.youtube.com/watch?v=A\\_7Ju2FRuYY&ab\\_channel=PeteRondea](https://www.youtube.com/watch?v=A_7Ju2FRuYY&ab_channel=PeteRondea)]

#### 1.7. Фрезерно-свердильний верстат «Syil X3»

[[https://www.youtube.com/watch?v=r2zGn5PM-xU&ab\\_channel=MetalMachineShop](https://www.youtube.com/watch?v=r2zGn5PM-xU&ab_channel=MetalMachineShop)]

2. Ознайомитись з основними елементами технологічного процесу обробки металевих деталей; обладнанням з ЧПК; типами різцетримачів; основними процесами механічної обробки.

3. Вивчити рухи переміщення робочих органів на токарних верстатах з ЧПК; види різців, фрез та інших інструментів для обробки металевих поверхонь.

4. Згідно індивідуального завдання (додаток 1), вибрати інструмент та тип верстата, визначити конфігурацію та розміри заготовки, запропонувати схему базування, визначити всі оброблювальні поверхні на ескізі та записати в таблицю найменування та зміст операції з урахуванням переходів (див. підрозділ "Приклад виконання індивідуального завдання").

### Запитання

1. Що таке технологічний процес, технологічна операція, технологічний перехід та робочий хід?

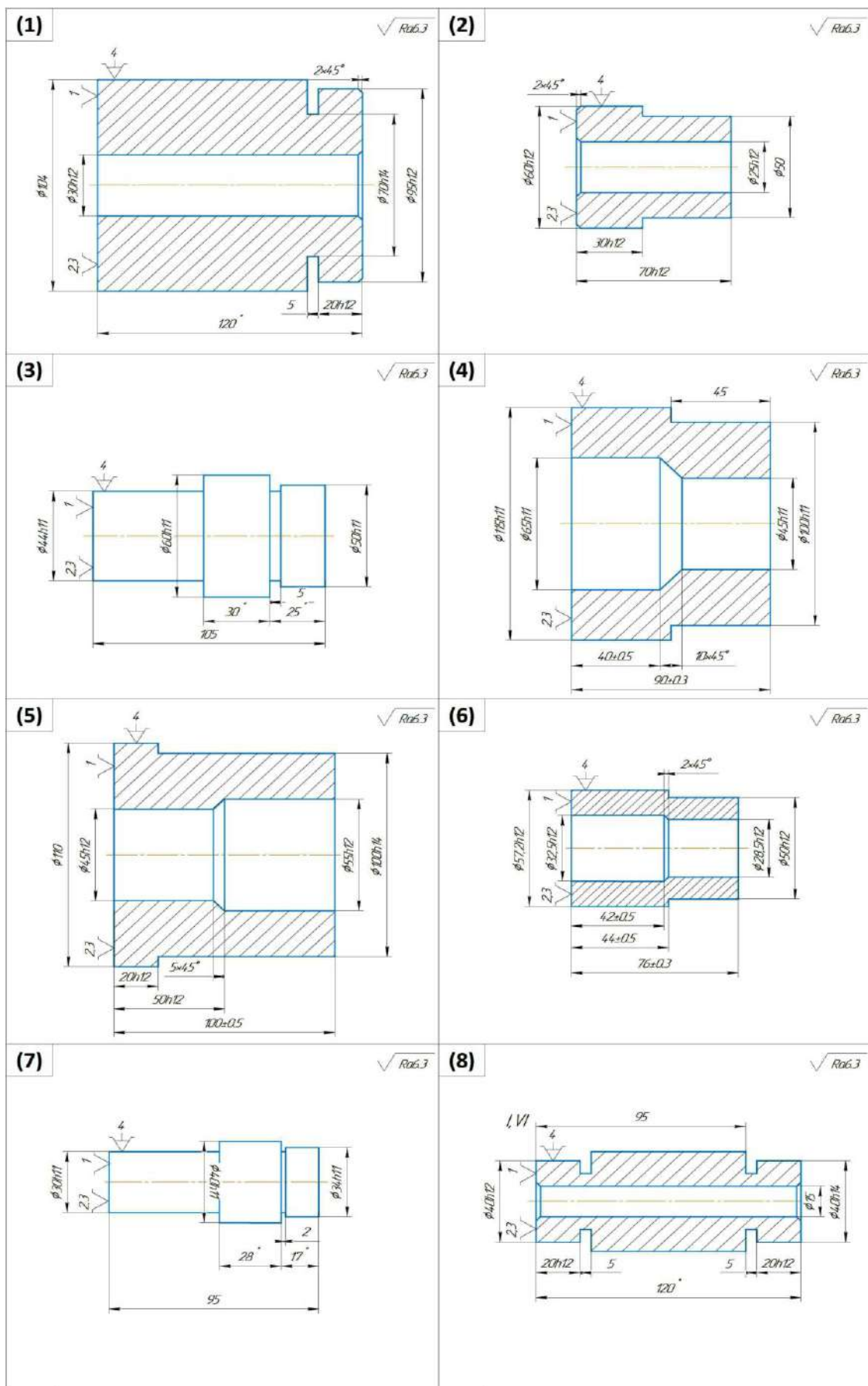
2. Деталізація складових технологічної операції і процесу обробки при використанні верстатів з ЧПК?

3. Види різців та фрез по металу?

4. Що таке точіння, фрезерування та свердління?

5. Яку шорсткість можна досягнути при точінні площин різцем?

## Додаток 1



<p><b>(9)</b></p> <p>Technical drawing of a stepped shaft. Dimensions: Total length 80 mm, left diameter 70 mm, right diameter 65 mm, step width 4 mm, bottom step width 23 mm, chamfer 3x45°. Surface finish: Ra6.3.</p>	<p><b>(10)</b></p> <p>Technical drawing of a stepped shaft. Dimensions: Total length 80 mm, left diameter 50 mm, right diameter 44 mm, step width 4 mm, bottom step width 5 mm. Surface finish: Ra6.3.</p>
<p><b>(11)</b></p> <p>Technical drawing of a stepped shaft. Dimensions: Total length 120 mm, left diameter 70 mm, right diameter 95 mm, step width 4 mm, bottom step width 23 mm. Surface finish: Ra6.3.</p>	<p><b>(12)</b></p> <p>Technical drawing of a stepped shaft. Dimensions: Total length 120 mm, left diameter 64 mm, right diameter 55 mm, step width 4 mm, bottom step width 23 mm. Surface finish: Ra6.3.</p>
<p><b>(13)</b></p> <p>Technical drawing of a stepped shaft. Dimensions: Total length 60 mm, left diameter 50 mm, right diameter 50 mm, step width 4 mm, bottom step width 23 mm. Surface finish: Ra6.3.</p>	<p><b>(14)</b></p> <p>Technical drawing of a stepped shaft. Dimensions: Total length 70 mm, left diameter 32 mm, right diameter 32 mm, step width 4 mm, bottom step width 23 mm. Surface finish: Ra6.3.</p>
<p><b>(15)</b></p> <p>Technical drawing of a stepped shaft. Dimensions: Total length 72 mm, left diameter 14 mm, right diameter 12 mm, step width 4 mm, bottom step width 23 mm. Surface finish: Ra6.3.</p>	<p><b>(16)</b></p> <p>Technical drawing of a stepped shaft. Dimensions: Total length 120 mm, left diameter 80 mm, right diameter 13 mm, step width 4 mm, bottom step width 23 mm. Surface finish: Ra6.3.</p>



### Практична робота № 3

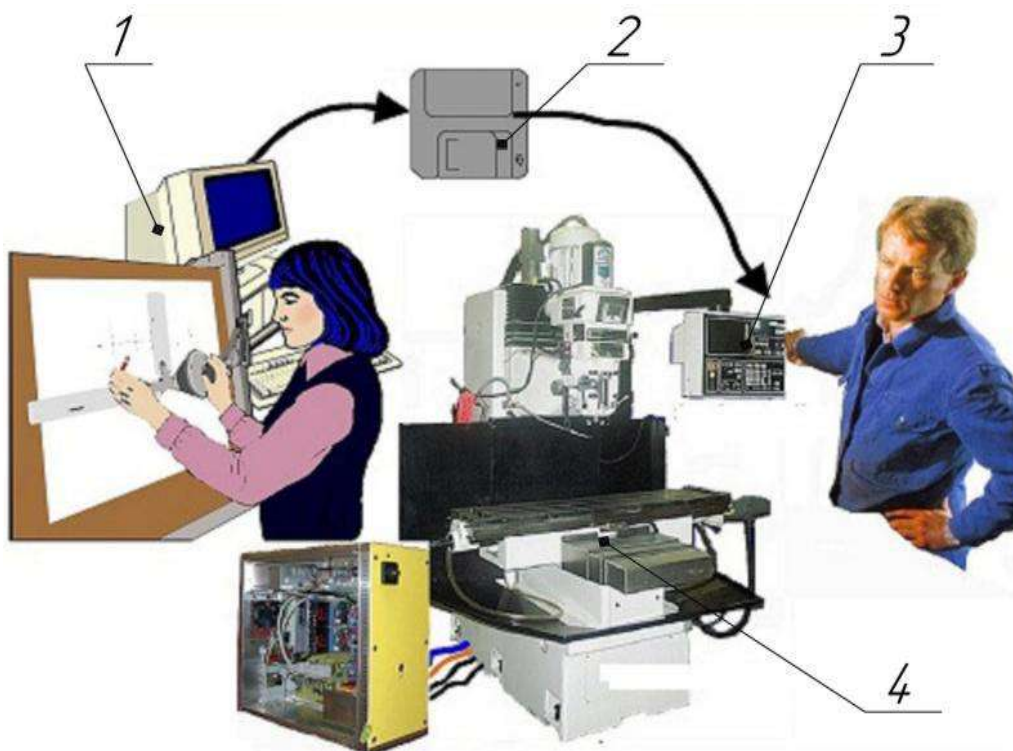
## ОСНОВИ ПРОГРАМУВАННЯ НА ВЕРСТАТАХ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

**Мета роботи:** вивчити основні функції та параметри програмування, навчитися складати кадри керуючої програми для обробки поверхонь деталей на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК).

### *Теоретичні відомості*

Системи числового програмного керування (ЧПК) – це сукупність спеціалізованих пристроїв, методів і засобів, які необхідні для роботи верстата та призначена для видачі керуючих дій виконуючим органом верстата у відповідності з керуючою програмою [33], [34].

Стандартна система керування верстатом з ЧПК представлена на рисунку 1.



1 – CAD/CAM програма; 2 – підпрограма; 3 – контролер; 4 – верстат

Рисунок 1 – Стандартна система керування верстатом з ЧПК



Дизайнер деталей використовує головним чином CAD/CAM програми 1. Отриманий цими програмами результат – підпрограму 2, яка представлена у вигляді G-коду, передається у контролер верстата 3. Контролер верстата переводить підпрограму у вид, який підходить для керування ріжучим інструментом. Вісі верстата приводяться в рух від серво- або шагових двигунів. Драйвери перевіряють чи достатньо потужні і допустимі в часі сигнали, які поступають від контролера верстата (рис. 1).

Керуюча програма (КП) має координати точок траєкторії інструменту, значення швидкості різання  $V$  або частоти обертання шпинделя  $S$ , подачі  $F$ , а також технологічні команди (змінна інструменту, включення, охолодження, і т.д.).

При запису кадрів під словом програми мають на увазі послідовність символів, що розглядаються в певному зв'язку як єдине ціле. Воно складається з адреси, яка позначена літерою, і числа, що відображає або величину переміщення, або швидкість подачі, або код якоїсь іншої функції.

Наприклад, слово  $Y +013345$  означає переміщення супорта верстата в позитивному напрямку осі  $Y$  на величину 13345 імпульсів, що при дискретності 0,01 мм/імп означає переміщення на 133,45 мм. Частина слова керуючої програми, яка визначає призначення наступних за ним даних, що містяться в цьому слові називають адресою. Фразу складають кілька слів, що описують обробку певної ділянки заготовки. Вона містить інформацію про геометричні та технологічні параметри, необхідних для обробки певної ділянки або для виконання допоміжних функцій (початок програми, підвід інструменту та ін.). У програмі послідовність фраз визначає послідовність обробки окремих ділянок заготовки (деталі).

Програма може бути записана двома способами: за фразами постійної і змінної довжини. Фрази постійної довжини називають кадрами. Послідовність слів, які розташовані у певному порядку та несуть інформацію про

технологічну операції називають кадром програми. Кожному слову при записі програми кадрами відведено певне число рядків.

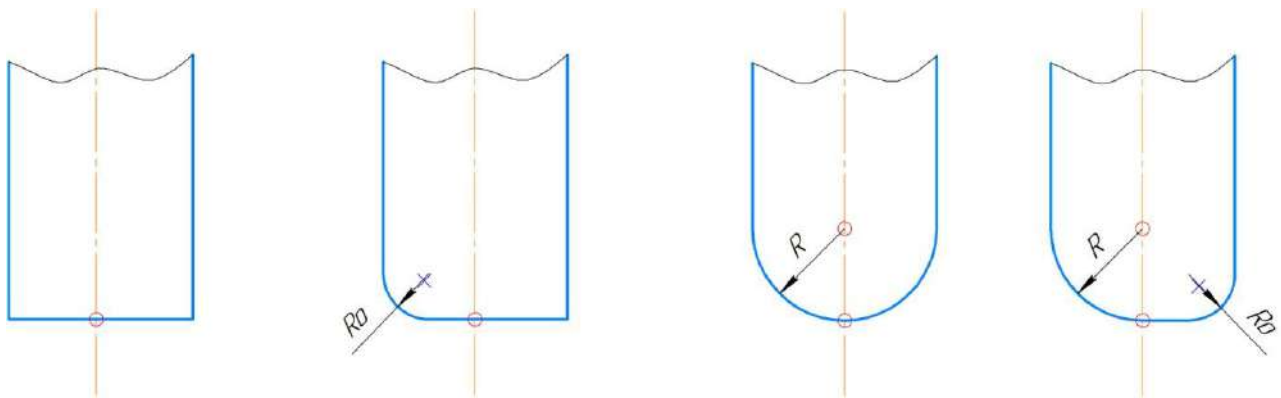
Записи фразами зі змінною довжиною можуть виконуватися трьома способами: адресним, табуляційним та універсальним. При записі адресним способом кожне слово починається з букви, яка вказує призначення подальшої числової інформації. При цьому довжина фраз виявляється змінною; одну фразу від іншої відокремлюють буквою Н (знак закінчення фрази). Якщо застосовують табуляційний спосіб запису, то всі слова фрази слідує один за одним в певній послідовності, їх поділяють буквою Я (знак табуляції, умовно позначається TAB). В універсальному способі записи використовують окремі елементи адресного і табуляційного способів.

Тому основними етапами підготовки КП є:

- розробка технологічної операції (схеми установки і закріплення деталі, схеми обробки, інструмент, режими різання – 20...30% затрат праці);
- розрахунок керуючої інформації (геометричної та технологічної (40...45%) затрат праці);
- кодування, контроль та налагодження – 20...25% затрат праці.

Для програмування руху інструменту необхідно провести розрахунок координат характерних точок траєкторії – так названих опорних точок, в яких змінюється направлення або/і швидкість руху інструменту або видаються технологічні команди. Розрахунок виконується на основі відомої геометрії оброблюваної поверхні з урахуванням форми інструменту – як правило, програмуються вершини фрези або центру округлення, тобто еквідистанти до перерізу деталі (рис. 2).

Для верстатів з ЧПК запис програми здійснюють на програмоносій (перфострічках, перфокартах, магнітних стрічках). Єдині для всіх видів верстатів правила кодування інформації КП на носії даних здійснюється у відповідності із міжнародними стандартами (ISO 6983) та аналогічними регламентованими державними стандартами України.



1 – CAD/CAM програма; 2 – підпрограма; 3 – контролер; 4 – верстат

Рисунок 2 – Стандартна система керування верстатом з ЧПК

Керуюча програма – представляє собою послідовність кадрів (кодів). Кожна стрічка програми називається кадром. Склад кадру – номер і одне або декілька інформаційних слів. Структура керуючої програми та кадру для будь-якої системи ЧПК представлена на рисунку 3.



Рисунок 3 – Структура керуючої програми та кадру

На початку та в кінці програми ставиться знак «%». По цьому символі система визначає область, де знаходиться програма. Потім йде заголовок програми, який позначається буквою «O» або «:» з наступним номером (максимум 4 цифри). Кожний кадр завжди закінчується символом «;». Закінченням програми є команди M2, M30 або M99. Умовно запис формату

керуючої програми показує, як слід формувати його при конкретному програмуванні для даного верстата.

Перед кодуванням інформації виконують умовно запис кадру, використовуючи для цього літерні, графічні та цифрові символи наведені в таблиці 1.

Розмірні переміщення задаються в послідовності X,Y, Z (U, V, W, P, Q, R) – лінійні; I, J, K – кругові; A, B, C (D, E) – кутові. Числа після адресів задають або абсолютні розміри, або приріст в залежності від установок підготовчих функцій. Значення I, J, K залежать від способу програмування дуги. Описи містять прототипи команд, які написані іншим шрифтом. У прототипах команд, тильда (~) означає реальне значення. Як було описано раніше, реальне значення може бути (1) явним числом, наприклад 4,4, (2) виразом, наприклад  $[2+2,4]$ , (3) значенням параметра, наприклад #88, або (4) значенням одиничної функції, наприклад ACOS [0].

У більшості випадків, якщо дано назву вісі (будь-який з них X ~, Y ~, Z ~, B ~, C ~, U ~, V ~, W ~), то воно позначає точку призначення. Номери вісі по відношенню до активної в даний момент координатній системі, якщо тільки не описано використання абсолютної системи координат. Там де назви осей необов'язкові, будь-які припущення осі будуть мати їх поточні значення. Будь-які предмети в прототипах команд не явно описаних як необов'язкові потрібні. Якщо потрібний предмет пропущено, то це помилка.

Символи U, V та W це синоніми A, B та C. Використання U, B з V і т.д. буде помилкою (як використання A двічі на рядку). У докладному описі кодів U, V та W не явно згадуються кожен раз, але використовуються як A, B або C. У прототипах, наступні значення за літерами часто даються як явні числа.

Якщо не вказано інше, явні числа можуть бути дійсними значеннями. Наприклад, G10 L2 може бути рівнозначно замінено  $G[2*5] L[1+1]$ . Якщо значення параметра 100 дорівнює 2, то G10 L#100 буде означати те ж саме.

Використання дійсних значень, які не явні числа як тільки що було показано в прикладі рідко буває корисним.

Таблиця 1 – Кодові символи [34]

Символ	Значення
A	Кут повороту навколо вісі X
B	Кут повороту навколо вісі Y
C	Кут повороту навколо вісі Z
D	Друга функція інструменту
E	Друга функція подачі
F	Перша функція подачі
G	Підготовча функція
H	Не визначено
I	Параметр інтерполяції або крок різьби паралельно вісі X
J	Параметр інтерполяції або крок різьби паралельно вісі Y
K	Параметр інтерполяції або крок різьби паралельно вісі Z
L	Не визначено
M	Допоміжна функція
N	Номер кадру
O	Не визначено
P	Третинна довжина переміщення, що паралельне вісі X
Q	Третинна довжина переміщення, що паралельне вісі Y
R	Переміщення на швидкому ході по вісі Z або третинна довжина переміщення, що паралельне вісі Z
S	Функція головного руху
T	Перша функція інструменту
U	Вторинна довжина переміщення, що паралельне вісі X
V	Вторинна довжина переміщення, що паралельне вісі Y
W	Вторинна довжина переміщення, що паралельне вісі Z
X	Первинна довжина переміщення, що паралельне вісі X
Y	Первинна довжина переміщення, що паралельне вісі Y
Z	Первинна довжина переміщення, що паралельне вісі Z
ГТ	Табуляція
ПС	Кінець кадру
%	Початок програми
(	Кругла дужка ліва
)	Кругла дужка права
+	Плюс
-	Мінус
.	Крапка
;	Пропуск кадру
:	Головний кадр

Якщо в прототипі написано  $L \sim$ , то найчастіше  $\sim$  буде сприйнято як "L число". Відповідно  $\sim$  в  $H \sim$  можна назвати "H числом" і так далі для будь-якої іншої літери.

Якщо фактор шкали використаний до будь-якої вісі, то він буде використаний відповідного до значення X, Y, Z, A/U, B/V, C/W виразів та належати до I, J, K або R виразів, коли вони використовуються.

### *Опис структури кадру*

- Порядковий номер кадру: = Nxx, де xx – ціле десяткове число.
- Підготовча функція: Gxx. Всі підготовчі функції (G-коди) поділяються на 9 груп:

- Група I:

G00 – позиціювання (швидке переміщення з точки A в точку B);

G01 – лінійна інтерполяція (рис. 4);

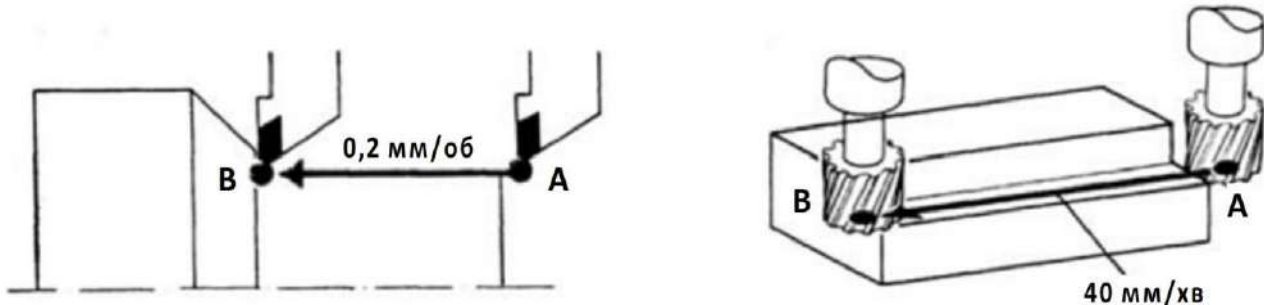


Рисунок 4 – Лінійне переміщення різця (а) та фрези (б) з точки A в точку B

G02 або G03 – кругова інтерполяція за годинниковою стрілкою (рис. 5) або проти годинникової стрілки;

- Група II: G17...G19 – вибір площини кругової інтерполяції (XY, ZX, YZ);
- Група III: G40...G52 – корекція на діаметр або радіус інструменту;
- Група IV: G53...G59 – корекція на довжину або положення інструменту;
- Група V: G560...G62 – точне та швидке позиціювання;
- Група VI: G80... G89 – стандартні цикли обробки отворів;

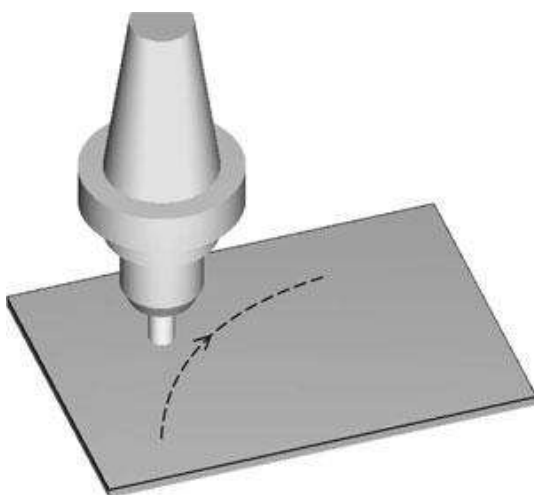


Рисунок 5 – Кругове переміщення фрези за годинниковою стрілкою

- Група VII: G90 – відрахунок в абсолютних розмірах; G91 – відрахунок в приращеннях; G92 – установка «плаваючого нуля»;
- Група VIII: G94, G95 – одиниці вимірювання подачі (мм/хв або мм/об);
- Група IX: G96, G97 – одиниці вимірювання швидкості різання (м/хв або об/хв).

В кадрі може бути декілька підготовчих функцій, але із різних груп. Функція діє до тих пір, поки не буде відмінена іншою функцією із тієї ж групи. В таблиці 2 наведені основні G-коди.

- **Подача:** = Fxxx може задаватися числовим значенням або кодом, розмірність у відповідності з установкою G94 або G95. Можливе задання як результуючої швидкості подачі, так і її складових по вісям координат (в останньому випадку використовуються адреса F, E, D).

- **Швидкість головного робочого руху:** = Sxxx також може бути задана числовим значенням або кодом, розмірність у відповідності G96, G97.

- **Функція інструменту:** = Txxx служить для вказівки номера інструменту та його коректора. Звичайно перші два знака – № інструменту, другі два знака – № коректора (рис. 6).

- Допоміжна функція: = Mxx визначає команди для виконуючих органів верстата (табл. 3).

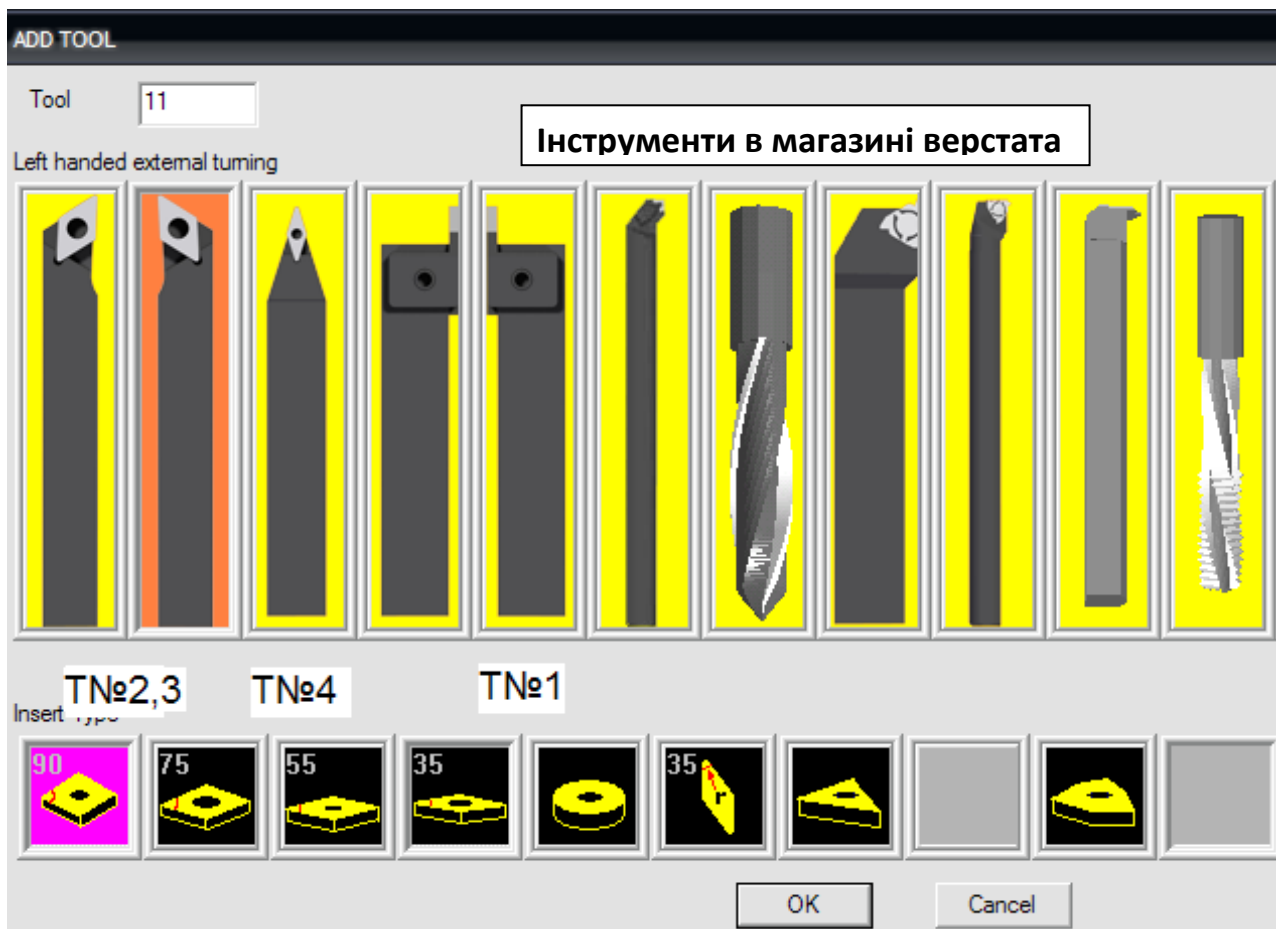


Рисунок 6 – Зовнішній вигляд інтерфейсу панелі для вибору інструменту в магазині токарного верстату з ЧПК [35]



Таблиця 2 – Підготовчі функції (G-коди) [34]

Позначення	Опис
G00	Лінійна інтерполяція при прискореному переміщені
G01	Лінійна інтерполяція з швидкістю подачі
G02	Кругова інтерполяція по годинниковій стрілці
G03	Кругова інтерполяція проти годинникової стрілки
G04	Зупинка з витримкою часу (свердління). Точна зупинка
G05	Кругова інтерполяція з виходом на кругову траєкторію по дотичній
G06	Зменшення допустимого рівня прискорення
G07	Відміна зменшення допустимого рівня прискорення
G08	Керування швидкістю подачі в точках перегину
G09	Відміна керування швидкістю подачі в точках перегину
G10	Введення таблиць даних інструменту координатної системи і робочих відступів
G11	Лінійна інтерполяція в полярних координатах
G12	Кругова інтерполяція по годинниковій стрілці в полярних координатах
G13	Кругова інтерполяція проти годинниковій стрілці в полярних координатах
G14	Можливість програмувати коефіцієнта підсилення по швидкості
G15	Вихід в полярний режим
G16	Вхід в полярний режим
G17	Вибір площини X_Y
G18	Вибір площини Z_X
G19	Вибір площини Y_Z
G20, 70	Використання дюймів
G21, 71	Використання міліметрів
G22	Активація вісь
G23	Програмування умовного переходу
G24	Програмування безумовного переходу
G28	Повернення в початкове положення
G28.1	Каліброва вісь
G30	Повернення в початкове положення
G31	Пряме дослідження
G32	Нарізання різьби без компенсаційним патрона
G34	Округлення двох лінійних ділянок
G35	Відміна округлення двох лінійних ділянок
G36	Відновлення параметрів відхилення, які установлені в машинних параметрах
G37	Програмування координат полюса дзеркального відображення
G38	Активація дзеркального відображення, повороту, масштабування
G39	Відміна функції дзеркального відображення
G40	Відміна автоматичної компенсації на радіус інструменту
G41	Компенсація радіуса інструменту
G42	Компенсація радіуса інструменту
G43	Відступ довжини інструменту
G44	Відступ довжини інструменту
G49	Відміна компенсації довжини інструменту
G50, 51	Фактори шкали
G52	Часові відступи системи координат

G53	Відміна зміщення нуля (рух в абсолютних координатах)
G54...G59	Імітація зміщення нуля (вибір робочих відступів координатної системи)
G60	Зміщення контуру в межах координатної системи керуючої програми
G61	Введення режиму керування
G62	Відміна точного позиціонування
G63	Увімкнення 100% від запрограмованого значення швидкості
G64	Введення режиму керування
G65	Прив'язка швидкості подачі до центру фрези
G66	Активація значення швидкості, яка задана потенціометром
G67	Відміна зміщення контуру в координатній системі керуючої програми
G68, 69	Обертання координатної системи
G73	Свердління з високою швидкістю
G74	Вихід в початок координат
G75	Робота з датчиком дотику
G76	Переміщення в точку з абсолютними координатами в системі координат верстату
G78	Активація свердлильної вісі
G79	Деактивація однієї свердлильної вісі або всіх відразу
G80	Відміна роботи стандартних циклів (відміна модального руху)
G81	Цикл свердління і чистового розточування центра отвору
G82	Цикл свердління і чистового розточування
G83	Стандартний цикл глибокого свердління з періодичним виводом свердла із отвору
G84	Цикл нарізання різьби (з компенсаційним патроном (для правого обертання)) мітчиком
G85	Цикл свердління та розсвердлення
G86	Цикл свердління (розточування)
G87	Цикл для оберненого (реверсного) свердління
G88, 89	Цикл свердління (розточування)
G90	Програмування в абсолютних координатах
G91	Програмування в відносних координатах
G92	Зміщення даної системи координат або обмеження максимальної частоти обертання шпинделя
G93	Програмування часу обробки кадру
G94	Програмування подачі в мм/хв
G95	Програмування подачі в мм/об
G96	Функція постійної швидкості різання
G97	Функція постійної частоти обертання шпинделя
G98	Повернення до початкової точки в постійному циклі
G99	Повернення до точки R в постійному циклі

Таблиця 3 – Допоміжні функції (М-коди) [34]

Позначення	Опис
M0	Програмуюча зупинка
M1	Зупинка за вимогою програми
M2	Зупинка КП, повернення робочих органів в вихідне положення
M3/4	Контроль шпинделя (рух шпинделя за годин. стрілкою/проти год. стрілки)
M5	Зупинка шпинделя
M6	Зміна інструменту
M7	Увімкнення охолодження (рідина)
M8	Увімкнення охолодження (повітря)
M9	Вимкнення охолодження
M10, M11	Затиснення /розтиснення стола або шпинделя
M30	Закінчення програми
M36, M38	Вибір діапазону подачі або швидкості і ін.
M47	Запущений повторно від першої лінії
M48	Відкинути контроль подачі та швидкості
M49	Перевизначити або відкинути контроль подачі та швидкості
M98	Введення підпрограми
M99	Вихід із підпрограми

### ***Порядок виконання роботи***

1. Перед виконанням роботи переглянути відеоматеріали за наступними посиланнями:

#### 1.1. Основи Mach 3

[[https://www.youtube.com/watch?v=F7K7pcmAEO4&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=F7K7pcmAEO4&ab_channel)]

#### 1.2. Робота в програмі Mach3. Від завантаження файлу до різання металу

[[https://www.youtube.com/watch?v=E-IBn3pcNRU&ab\\_channel](https://www.youtube.com/watch?v=E-IBn3pcNRU&ab_channel)]

#### 1.3. Завантаження G коду і робота в програмі Mach3

[[https://www.youtube.com/watch?v=lsQQ7DSFYqQ&ab\\_channel=%D0%A7%D0%9F%D0%A3%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8](https://www.youtube.com/watch?v=lsQQ7DSFYqQ&ab_channel=%D0%A7%D0%9F%D0%A3%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8)]

#### 1.4. Основи програмування на фрезерних верстатах ЧПУ (система Fanuc)

[[https://www.youtube.com/watch?v=NQxYrO\\_AXPg&list=PLvu4B-r5Vyyu3TtE03soSdg9tICO\\_JePP&index=9&ab\\_channel=CNCFANUC](https://www.youtube.com/watch?v=NQxYrO_AXPg&list=PLvu4B-r5Vyyu3TtE03soSdg9tICO_JePP&index=9&ab_channel=CNCFANUC)]

2. Ознайомитись із системою керування верстатом з ЧПК, основними положення програмування в системі Mach3, а також структурою керуючої

програми та кадру.

3. Вивчити основні кодові символи, підготовчі G-коди та допоміжні M-коди, які використовуються для програмування лінійного та кругового переміщення інструменту (фрези) відносно плоскої заготовки.

4. Згідно індивідуального завдання (додаток 1), розшифрувати кадр керуючої програми.

### Запитання

1. Які складові стандартної системи керування обладнання з ЧПК?
2. Які основні етапи підготовки керуючої програми?
3. Які складові кадру керуючої програми?
4. Що означає S800 в кадрі програми?
5. Яка функція для програмування кругового переміщення інструменту проти годинникової стрілки?

### Додаток 1

№ вар.	Завдання
1	N16G90G95G20G17G02X2Y3R2 F0.1S850T3M5
2	N17G91G95G20G17G03X1Y0Z-0.2I-1 F0.05S550T1M3
3	N18G90G94G21G17G01X0Y50Z-40 F100S900T2M8
4	N12G91G94G21G17G02X100Y80I50J-15 F100S1000T1M1
5	N02G91G94G20G17G01X1Y2Z-1 F300S1200T2M30
6	N01G90G94G21G17G01X40Y20 F100S800T1M1
7	N09G90G94G21G17G01X50A60 F100S700T1M7
8	N03G90G95G21G17G01X55Y15Z-10 F0.1S500T1M4
9	N15G90G94G21G17G03X40A100 F500S700T2M6
10	N13G90G94G21G17G03X100Y80I-15J50 F500S600T1M30
11	N14G91G94G21G17G02X50Y50J-50 F500S1100T1M3
12	N05G90G94G71G17G02X10Y15R20Z5 F200S800T3M5
13	N11G90G94G21G17G00X15Y45 F250S900T2M9
14	N06G91G95G70G17G02X1Y2R3Z1 F0.05S1400T1M8
15	N07G90G94G21G17G00X0Y20Z-30 F300S800T2M7
16	N08G91G95G20G17G03X2Y3R2Z-1.5 F0.2S600T1M4
17	N10G91G95G70G17G01X3Z-3 F0.05S650T3M7
18	N04G91G95G20G17G01X4Y3Z-2 F0.05S1000T1M3

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Технологія конструкційних матеріалів / Сологуб М.А., Рожнецький І.О., Некоз О.І. та ін. – К.: «Вища школа», 2002. – 425 с.
2. Groover M.P. Fundamentals of modern manufacturing: Materilas, processes, and systems, Fourth Edition. – USA: «John Wiley & Sons (Wiley)», 2010. – p. 1013.
3. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Технологія конструкційних матеріалів. Обробка різанням» для студентів машинобудівних спеціальностей (електронне видання) / Ю.В.Ключников та ін. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 45с.
4. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: навчальний посібник / Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О. – К.: «Либідь», 2002. – 326 с.
5. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: навчальний посібник у 2-х кн. Книга II. – С.: «ВТД Університетська книга», 2002. – 260 с.
6. Методичні вказівки до виконання лабораторних та практичних робіт з дисципліни «Основи професійної діяльності» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» (електронне видання) / В.В. Джемелінський, О.Д. Кагляк, Д.А. Лесик. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 60 с.
7. Джемелінський В.В., Лесик Д.А. Основи професійної діяльності [Електронний ресурс]: навчальний посібник. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні тестові данні. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 177 с.
8. Технология конструкционных материалов: учебное пособие / Под ред. М.А.Шатерина. – СПб.: «Политехника», 2005. – 597 с.
9. <https://regionvtormet.ru/svarka/osobennosti-lyuneta-dlya-tokarnogo-stanka-vidy-i-stroenie-dostoinstva-i-nedostatki-rekomendatsii.html>
10. <http://stanokgid.ru/osnastka/patrony-dlya-tokarnogo-stanka.html>
11. <http://met-all.org/oborudovanie/stanki-tokarnye/tokarno-vintoreznyj-standok-1k62-tehnicheskie-harakteristiki.html>

12. [http://stanki-katalog.ru/sprav\\_1341.htm](http://stanki-katalog.ru/sprav_1341.htm)
13. [http://stanki-katalog.ru/sprav\\_2n125.htm](http://stanki-katalog.ru/sprav_2n125.htm)
14. [https://studopedia.su/18\\_76356\\_obrobka-zagotovok-detaley-mashin-na-sverdlilnih-verstatah.html](https://studopedia.su/18_76356_obrobka-zagotovok-detaley-mashin-na-sverdlilnih-verstatah.html)
15. <http://metallurgu.ru/books/item/f00/s00/z0000022/st048.shtml>
16. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учеб. пособие : 5-е изд., испр. / Л.Н. Тялина, Н.В. Фёдорова, А.П. Королёв. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 100 с.
17. <https://fdb-stanki.com/p256462872-vertikalno-frezernyj-standok.html>
18. <https://ostanke.ru/frezernye/gorizontalniy-6r82.html>
19. [https://studref.com/517004/tehnika/tehnologicheskie\\_vozmozhnosti\\_formoobrazovaniya\\_stroganiem\\_dolbleniem](https://studref.com/517004/tehnika/tehnologicheskie_vozmozhnosti_formoobrazovaniya_stroganiem_dolbleniem)
20. [https://rustan.ru/t\\_162\\_7305.htm](https://rustan.ru/t_162_7305.htm)
21. <https://umm174.ru/stati/ploskoe-shlifovanie-metallicheskih-poverhnostey>
22. [http://stanki-katalog.ru/sprav\\_3g71.htm](http://stanki-katalog.ru/sprav_3g71.htm)
23. Горпенюк Н.А., Еднерал П.П., Навроцкий Б.С., Панченко З.Д., Сологуб Н.А. Технология металлов и других конструкционных материалов. Методическое пособие. Издательство Киевского университета, 1968. – 168 с.
24. Кряжев Д.Ю. Фрезерная обработка на станках с ЧПУ с системой ЧПУ FANUC: Учебное пособие версия 0.1. – Металлообрабатывающие станки с ЧПУ – ЗАО «ИРЛЕН-инжиниринг», 2005. – 41 с.
25. <http://pereosnastka.ru/articles/shlifovalnye-krugi>
26. <https://ice-people.ru/raznoe-2/abraziv-krug-speckomplektaciya-sajt-kabelnoj-kompanii.html>
27. <https://www.metalcutting.ru/content/struktura-shlifovalnogo-kruga>
28. [https://sat-abraziv.ru/useful\\_info/polisher/](https://sat-abraziv.ru/useful_info/polisher/)
29. <http://www.gzsito.by/produktsiya/katalog/reztsy>
30. <https://studref.com/310606/tehnika/frezerovanie>
31. <https://verstakdoma.ru/stati/instrument/promyshlennyj-vybor-sverla-po-derevu->

[i-metallu-tipy-zatochka-gost/](#)

32. <https://interistroy.ru/uk/common-repair-issues/viii-selection-of-cutting-modes-for-drilling/>
33. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: Учеб. пособие. - М.: Логос, 2005. - 296 с.
34. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Методика программирования станков с ЧПУ на наиболее полном полигоне вспомогательных G-функций: <https://docplayer.ru/25851192-Sosonkin-v-l-martinov-g-m-metodika-programmirovaniya-stankov-s-chpu-na-naibolee-polnom-poligone-vspomogatelnyh-g-funkciy.html>
35. [https://www.youtube.com/watch?v=3LJF2dIPBIE&ab\\_channel=EME](https://www.youtube.com/watch?v=3LJF2dIPBIE&ab_channel=EME)